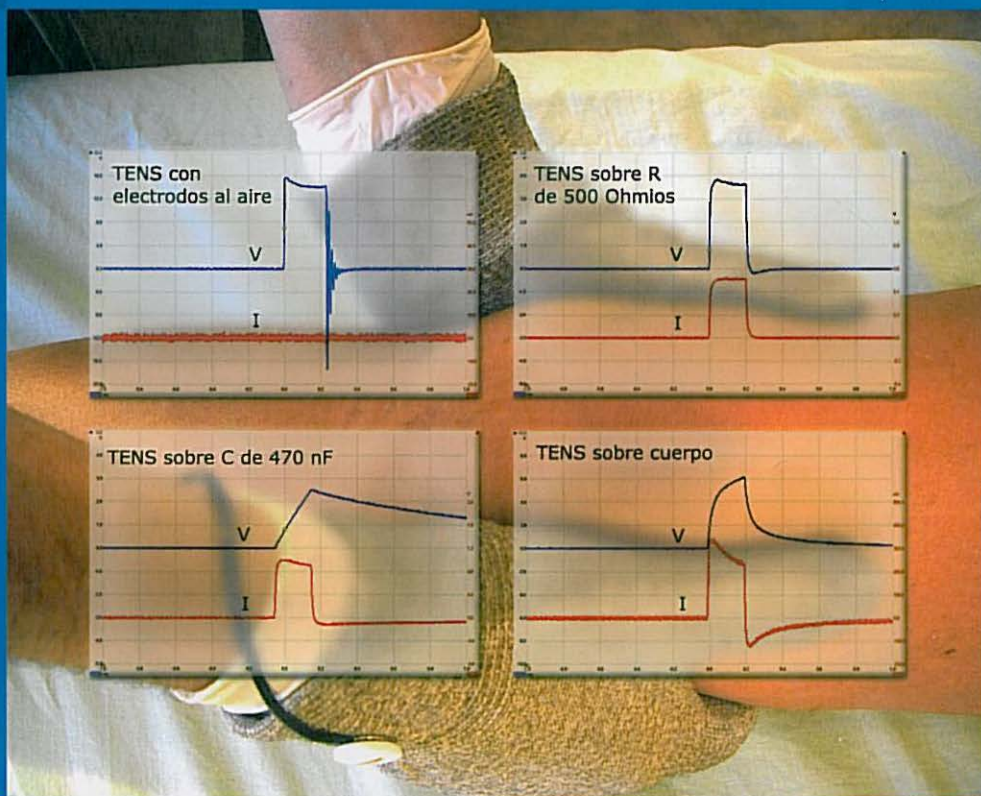


Rodríguez Martín

Electroterapia en Fisioterapia

3ª EDICIÓN



WWW
👉

Índice

Introducción a la electroterapia	VII
Herramientas didácticas utilizadas	XI
 Capítulo 1 ELECTROFÍSICA DE ELECTROTERAPIA	1
Parámetros fundamentales de la energía eléctrica y electromagnética	2
Parámetros de medida en corrientes variables	21
Formas de electricidad	28
Electrólisis y electroforesis	29
Espectro electromagnético	31
Potencial de cálculo con la ley de Ohm	33
 Capítulo 2 CORRIENTES MÁS UTILIZADAS EN ELECTROTERAPIA	35
Clasificación de las corrientes	36
Análisis detallado de formas y parámetros	41
Sistemas electrónicos para electroestimuladores de baja y media frecuencia	54
Medida de los pulsos y ondas en el osciloscopio	58
 Capítulo 3 APLICACIÓN DE ELECTROTERAPIA	65
Aplicación de corrientes de baja y media frecuencia	66
Protocolo para aplicar electroterapia	83
Consideraciones para evitar quemaduras en los pacientes	85
Puntos motores monopolares nerviosos y musculares	85
Uso de electrodos adhesivos o electrodos con esponjilla	94
Código de colores	101
Técnicas más usadas en electroterapia	101
 Capítulo 4 NOMENCLATURA EN ELECTROTERAPIA	103
Generalidades	104
Baja frecuencia	109
Alta frecuencia o radiofrecuencia	118
Ultrasonoterapia	119
Infrarrojos	121
Láser	122
Magnetoterapia	123
Biofeedback	123

Capítulo 5	GALVANISMO	125
	Introducción al galvanismo	126
	Generador de corriente continua o galvánica	142
	Dosis de la corriente galvánica	143
	Componente galvánico de las corrientes galvánicas interrumpidas	147
Capítulo 6	TRATAMIENTOS CON GALVANISMO	155
	Algunas aplicaciones y tratamientos con galvanismo	156
	Contraindicaciones y precauciones con la corriente galvánica	171
Capítulo 7	IONTOFORESIS	183
	Bases de la técnica	184
	Algunos ejemplos de iontoforesis	203
	Vademécum iontoforético	210
Capítulo 8	ELECTROANALGÉSICA DE BAJA FRECUENCIA	215
	Técnicas de estimulación nerviosa sensitiva y motora para analgesia	216
	Conducción del dolor: sistema aferente o sensitivo	223
	Exploración de los dolores	245
	Electroanalgesia guiada por galvanopalpación	247
	Electroanalgesia por vibración muscular	251
	Electroanalgesia con la modulación 0	254
	Maniobras de cyriax con corrientes	256
	Resumen de las técnicas de electroanalgesia	257
	Cicatrización de heridas por estimulación nerviosa transcutánea	257
	Precauciones y contraindicaciones	260
Capítulo 9	CORRIENTES DIADINÁMICAS	263
	Corrientes diadinámicas o moduladas de Bernard	264
	Metodología de tratamiento con diadinámicas	276
Capítulo 10	EFEECTO EXCITOMOTOR	279
	Curvas de respuesta fisiológica: intensidad/tiempo y acomodación/tiempo (I/T-A/T)	280
	Realización de curvas intensidad/tiempo y acomodación/tiempo	283
	Parámetros característicos de la curva I/T de normalidad con impulsos cuadrangulares	291
	Parámetros característicos de la curva A/T de normalidad con impulsos de subida progresiva	296
	Triángulo de utilidad terapéutica (TUT)	306
	Parálisis periférica. Estimulación selectiva de músculos denervados	309
	Análisis de las curvas I/T-A/T	315
	Fichas de captura de datos y exploración	328
Capítulo 11	ESTIMULACIÓN NEUROMUSCULAR	329
	Estimulación de fibra muscular no denervada	330
	Faradización neuromuscular	330
	Tipos de fibras musculares	340

Tratamientos con farádicas	347
Diseño y características mínimas de un neuroestimulador de alto voltaje	360
Algunos casos	365
Electroestimulación funcional en lesionados medulares y otras afecciones nerológicas (FES)	373
Capítulo 12 MEDIA FRECUENCIA	377
Media frecuencia, corrientes Interferenciales y corriente de Kots	378
Efectos de la media frecuencia sobre los tejidos vivos	399
Otras formas de aplicar media frecuencia	415
Media frecuencia combinada con ultrasonidos	418
Algunas aplicaciones	419
Indicaciones	423
Contraindicaciones	424
Capítulo 13 ALTA FRECUENCIA	425
Introducción	426
Densidad de energía electromagnética	429
Clasificación de la alta frecuencia	431
Análisis y características de los sistemas usados	432
Electroporación	435
Calor y temperatura	437
Dosis de alta frecuencia	437
Alta frecuencia atérmica	441
Efectos fisiológicos	445
Indicaciones	447
Precauciones	447
Exploración y preguntas protocolarias a los pacientes antes de aplicar termoterapia profunda de alta frecuencia	448
Contraindicaciones	448
Onda corta	449
Microonda	452
Capítulo 14 MAGNETOTERAPIA	459
Introducción	460
Dosificación de magnetoterapia	463
Generación de campos magnéticos	466
Capítulo 15 ULTRASONOTERAPIA	487
Introducción	488
Generación de los ultrasonidos	488
Velocidad de conducción y longitud de onda	491
Aplicación de los ultrasonidos	491
Equipos aplicadores de ultrasonidos	495
Algunos ejemplos	502
Dosis recomendadas	506
Efectos sobre el organismo	507
Metodología de tratamiento con ultrasonoterapia	511
Tratamiento combinado de ultrasonidos con electroterapia	514
Características mínimas de un equipo de ultrasonoterapia	517

Ondas de choque.....	519
Indicaciones.....	520
Precauciones.....	521
Contraindicaciones.....	521
Algunas dosis recomendadas.....	521
Ecografía musculoesquelética.....	525
Capítulo 16 INFRARROJOS.....	529
Introducción.....	530
Dosis de infrarrojos.....	532
Dosificación de rayos infrarrojos.....	536
Diferencias entre infrarrojos estándares e infrarrojos láser.....	537
Diseño de un equipo para aplicación de infrarrojos de tipo A.....	539
Protocolo para aplicar infrarrojos de tipo A.....	540
Efectos fisiológicos.....	541
Indicaciones.....	542
Precauciones.....	542
Contraindicaciones.....	543
Capítulo 17 LASERTERAPIA.....	545
Introducción.....	546
Generación de la luz.....	546
Leyes de la luz.....	550
Tipos de láser.....	560
Banda de emisión y niveles de potencia.....	562
Clasificación legal.....	562
Modos de aplicación.....	564
Métodos de tratamiento.....	565
Características del láser.....	567
Parámetros de la terapia láser.....	568
Algunos casos.....	572
Equipos de láser.....	578
Efectos del láser.....	583
Dosis recomendadas.....	585
Protocolo de dosificación.....	585
Laserpuntura.....	589
Contraindicaciones y precauciones.....	590
Capítulo 18 BIOFEEDBACK Y MIOFEEDBACK EN FISIOTERAPIA.....	593
Introducción.....	594
Definiciones.....	594
Sistemas de <i>biofeedback</i>	594
Ventajas de las técnicas de <i>biofeedback</i> y de <i>miofeedback</i>	595
Inconvenientes de las técnicas de <i>biofeedback</i> y de <i>miofeedback</i>	595
Protocolo del <i>miofeedback</i>	595
Métodos de trabajo con <i>miofeedback</i>	596
Combinación de <i>miofeedback</i> con estimulación eléctrica.....	597
Descripción de un equipo básico de <i>miofeedback</i>	598
Indicaciones del <i>miofeedback</i> muscular.....	601
Indicaciones y aplicaciones del <i>biofeedback</i> general.....	602
<i>Miofeedback</i> en incontinencias.....	602



1

Electrofísica de electroterapia

Contenido

- Parámetros fundamentales de la energía eléctrica
- Mediciones de la energía eléctrica
- Conceptos básicos de física relacionados con la electroterapia
- Parámetros de medida en corrientes
- Algunos efectos biológicos
- Introducción a los sistemas de dosificación

Objetivos de aprendizaje

- Comprender los conceptos de electrofísica que todo fisioterapeuta debe conocer.
- Asimilar estos conceptos de forma clara y ser capaz de aplicarlos.
- Conocer los sistemas básicos de dosificación.
- Estimular a la práctica experimental con equipos de electroterapia.

Síntesis conceptual

- ✓ Este capítulo es fundamental para la comprensión de la doctrina de la electroterapia. Juntamente con los siguientes dos capítulos, en ellos se establecen las bases para avanzar por los demás.
- ✓ En este primer capítulo se plantean las cuestiones básicas de electrofísica que se requieren en fisioterapia para comprender la electroterapia. No se trata de aportar conceptos complejos y fórmulas confusas, sino de plantear la electrofísica de forma simple, sencilla y enfocada a la electroterapia para comprender con claridad cuestiones necesarias, así como para evitar conceptos erróneos e incomprensiones de ésta. Los conceptos vertidos en este capítulo son aplicables a todas las técnicas de electroterapia y el lector debe detenerse en él para dominar de forma clara cada epígrafe. Se trata de un capítulo de referencia frente a las dudas que puedan surgir en la lectura de otros capítulos.

PARÁMETROS FUNDAMENTALES DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA Y ELECTROMAGNÉTICA

Deben conocerse los parámetros, efectos y comportamientos de la energía eléctrica y magnética, así como las respuestas de la materia viva frente a dicha energía, según el punto de vista de la fisioterapia. Ello implica cierto conocimiento de la física de manera que se comprendan los conceptos de forma clara y pueda usarse un número mínimo de fórmulas, pero suficiente para aplicar cualquier técnica de electroterapia.

Electricidad

Es la manifestación energética de los electrones, más o menos concentrados, que con frecuencia proceden de la última capa de los átomos, que se aglutinan o se desplazan entre ellos, y producen fenómenos que se describirán más adelante. Como fisioterapeuta podrá considerarse que las manifestaciones eléctricas no proceden tan sólo de los electrones sino también de los iones en las disoluciones.

Este movimiento de cargas eléctricas se ha cuantificado y estudiado básicamente en las leyes de Ohm, de Joule, de Faraday y en la electroquímica.

Las magnitudes más importantes que manifiesta la electricidad son:

- Polaridad.
- Carga eléctrica.
- Diferencia de potencial o tensión eléctrica.
- Intensidad.
- Resistencia.
- Potencia.
- Efecto electromagnético.
- Capacitancia.
- Inductancia.
- Resistividad.
- Impedancia.
- Efecto anódico (o sombra de la carga).

Polaridad

Para que aparezca movimiento de electrones, tienen que existir zonas donde escaseen y zonas en que haya un exceso. Dado que la materia tiende a estar eléctricamente equilibrada, se produce un movimiento desde donde abundan los electrones hacia donde éstos faltan. La zona con déficit de electrones se encuentra cargada positivamente $[+]$ y se denomina ánodo, y la zona con exceso de éstos se encuentra cargada negativamente $[-]$ y se denomina cátodo (Fig. 1-1).

Podría afirmarse que la lógica del lenguaje indica lo contrario ($[-]$ para la zona donde escasean y $[+]$ para la zona donde abundan). Sin embargo, antes de conocer la estructura del átomo, se pensaba que las cargas eléctricas se desplazaban de $[+]$ a $[-]$, pero después se descubrió que se estaba empleando la nomenclatura a la inversa de lo que ocurría en realidad. Por ello se considera que $[+]$ es defecto de cargas eléctricas y $[-]$, exceso de cargas eléctricas. En consecuencia, en este caso se mantiene la nomenclatura real y no la convencional.

Más adelante se insistirá en este concepto en relación con las cargas eléctricas, la polaridad, la fuerza electromotriz, etc., cuando se aplica a una disolución o cuando la disolución es la generadora. En fisioterapia no puede disponerse de conceptos erróneos sobre las cargas eléctricas y su polaridad.

Son dos fuerzas opuestas y de igual magnitud, pues con la misma fuerza atrae hacia sí el $[+]$, como repele el $[-]$ fuera de sí.

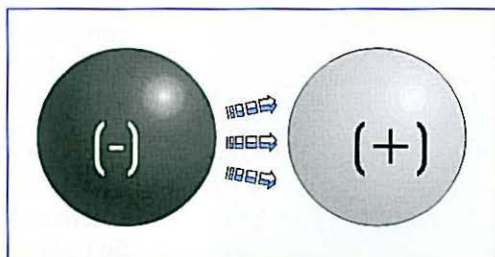


Figura 1-1. Entre dos masas eléctricas con diferente carga aparece la fuerza electromotriz.

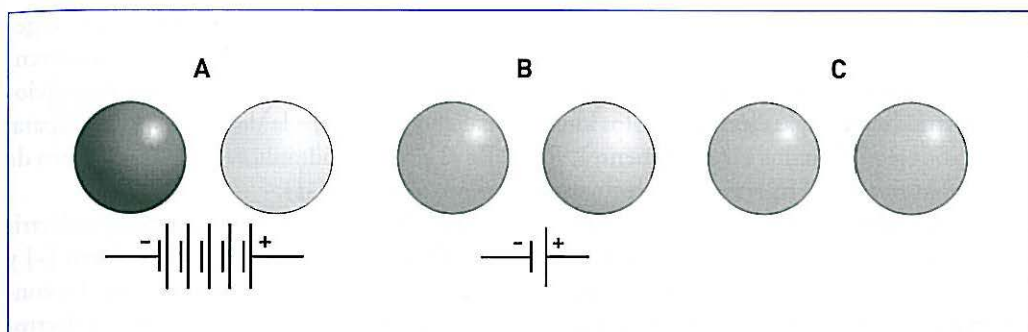


Figura 1-2. A) Existe mucha diferencia de potencia y, lógicamente, mucha carga energética, o viceversa. B) La diferencia de potencial es menor con poca carga. C) No hay carga porque no existe diferencia de potencial o voltaje.

Carga eléctrica

Es la cantidad de electricidad (número de electrones) disponible en determinado momento en un conjunto delimitado de materia o en un acumulador (batería o pila). Su unidad es el culombio (C) que, aproximadamente, es $6,02 \cdot 10^{23}$ (1 culombio = 1 mol de electrones). Si los electrones contenidos en la carga de un culombio cada segundo pasan por un conductor eléctrico, está pasando 1 amperio (A) de intensidad (Fig. 1-2), es decir:

$$1 C = 1 A \cdot 1 s$$

Si se compara el fluido eléctrico con un fluido hidráulico, podría afirmarse que la carga son los litros disponibles en el depósito. No debe confundirse *carga eléctrica* con otra expresión similar utilizada en electricidad y que se refiere al objeto o materia sobre la cual trabaja esta energía. Se trata de la expresión *carga resistiva* equivalente a *resistencia*.

Diferencia de potencial, tensión eléctrica o voltaje

Es la fuerza «impulsora» que induce a los electrones a desplazarse de una zona con exceso a otra con déficit. Dicha fuerza también recibe el nombre de fuerza electromotriz. Podría com-

pararse con la presión del agua u otro fluido cuando se encuentra en recipientes a distinta altura. Su unidad es el voltio (V) (Fig. 1-3).

A la diferencia de potencial habitualmente se la denomina tensión o voltaje. Para medirla, la energía eléctrica debe manifestarse en forma estática. Si a las dos cargas que se comparan se las comunica por un conductor, se produce el trasvase de electrones de una a la otra y desaparece de forma progresiva la diferencia de potencial de manera inversa a como se produce el trasvase de electrones.



Vídeo 1-1. Medida de voltaje

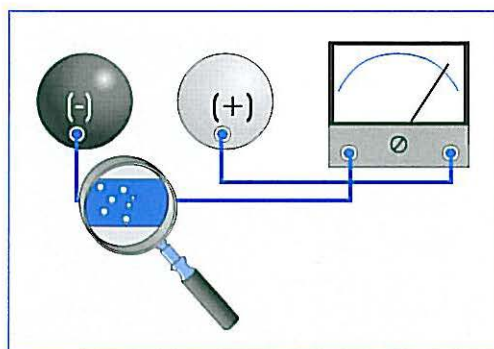


Figura 1-3. Medida de voltaje o diferencia de potencial. Si se observa en la ampliación del conductor, los electrones no se están desplazando aunque podrían hacerlo. La medida de voltaje se puede realizar con paso energético o sin movimiento energético.

Fuerza electromotriz

Es la fuerza que trata de devolver el equilibrio eléctrico a las cargas eléctricas y a los iones (átomos desequilibrados eléctricamente), lo que provoca el movimiento de electrones desde donde abundan hacia donde escasean. Si el desequilibrio es $[+]$ (defecto de electrones), genera succión sobre otras cargas eléctricas próximas y de signo $[-]$. Si el desequilibrio es $[-]$ (exceso de electrones), genera repulsión o intento de salto a otras cargas eléctricas próximas y de signo $[+]$ (Fig. 1-4).

Cuanto mayor sea la diferencia de potencial eléctrico entre las dos cargas que se comparan,

mayor será la fuerza electromotriz que se genera entre ambas, de forma directa a la diferencia entre las cargas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que las separa. En el circuito hidráulico, será el parámetro de la presión (Fig. 1-1).

Los diferentes tipos de generadores eléctricos desplazan las cargas (las concentran $[-]$ y generan huecos $[+]$) en la materia que las contiene, es decir, consiguen crear fuerza electromotriz. Estas fuerzas entre masas las regula la ley de Coulomb.

Ley de Coulomb

Esta ley afirma que la fuerza de atracción o repulsión entre dos masas eléctricas es igual al producto entre ellas, partido por el cuadrado de la distancia que las separa y por una constante dieléctrica.

$$F = k \frac{Q \cdot q}{d^2}$$

Siendo: k = la constante; Q y q = ambas cargas eléctricas, y d^2 = el cuadrado de la distancia.

Intensidad

Es la cantidad o flujo de electrones que pasan por un punto en un segundo. Su unidad es el amperio (A). Se representa con una I .

Si pudiera contemplarse el referido paso de electrones por el conductor, podría apreciarse cómo se mueven en sentido del polo $[-]$ al polo $[+]$, es decir, desde donde abundan hasta donde escasean (Fig. 1-5). Expresado de otro modo, sería el número de litros que pasan por una tubería en la unidad de tiempo.

Sin embargo, en ocasiones se encontrarán referencias a la idea de que el origen de la corriente es el polo positivo o ánodo. Habría que aclarar que, más que paso de corriente, debe hacerse referencia a generador de fuerza electromotriz (huecos eléctricos) para producir co-

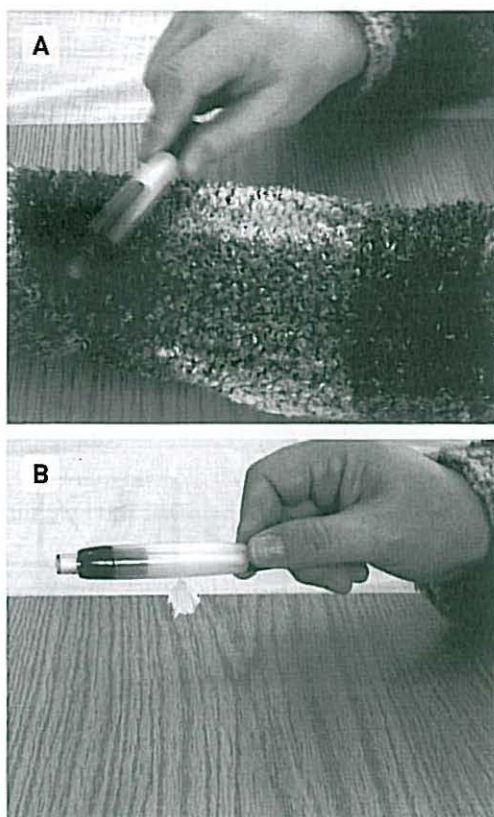


Figura 1-4. A) El roce provoca un desequilibrio de cargas entre dos tipos de materia diferentes. B) El desequilibrio y la concentración de cargas atraen al pedazo de papel para captar sus cargas eléctricas o cedérselas hasta conseguir el nuevo equilibrio.

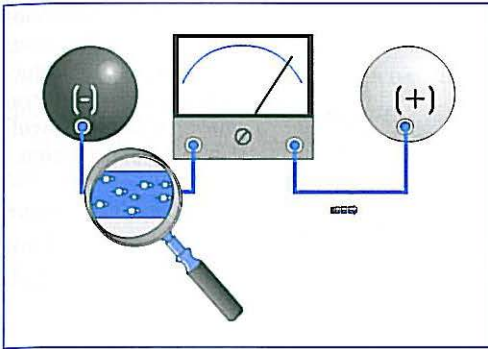


Figura 1-5. En la amplificación del conductor se observa que los electrones se desplazan. Para medir amperios (I) siempre tiene que existir el desplazamiento energético.

rriente eléctrica. De hecho, son iguales y opuestas, tanto la del [-] que emite electrones como la del positivo [+] que succiona electrones para ocupar los huecos creados.



Vídeo 1-2. Medida de intensidad

La intensidad es el parámetro que habitualmente se denomina corriente eléctrica y su medida se pondrá de manifiesto siempre que haya paso de energía eléctrica por un punto.

En electroterapia, por lo general, se utiliza la unidad de intensidad en mA (1 A/1.000).



Práctica 1-1

1. ¿Cuántos mA son 3 A?

mA =

2. ¿Cuántos A son 7,5 mA?

A =

Resistencia

Es la fuerza de freno que opone la materia al movimiento de los electrones cuando circu-

lan a través de ella (Fig. 1-6). Así pues, esta característica no es propia de los parámetros de la electricidad, sino de la materia cuando se la somete a esta energía. Su unidad es el ohmio. Se representa con Ω o con R. Sería la dificultad que ofrece la tubería en un circuito hidráulico al paso del fluido.

Por ejemplo, ¿costará mucho introducir el mástil de una sombrilla que se pretende clavar en el suelo de la playa (primero en arena seca)? Si se intenta la misma acción en arena húmeda y apelmazada, ¿costará más o costará menos que al primer intento? Esa mayor o menor dificultad para penetrar el terreno es la resistencia.

El valor de la resistencia en un conductor está determinado por la resistividad específica de la materia que lo compone, es directamente proporcional a la longitud del conductor e inversamente proporcional a la sección del conductor de manera que:

$$R = r_e \frac{L}{S}$$

Siendo: r_e = resistividad específica, L = longitud del conductor y S = sección del conductor.

Para el fisioterapeuta no es importante el cálculo de la resistencia de un conductor eléctrico metálico y sus medidas, ya que, por regla general, los han establecido y medido los técnicos electrónicos para evitar que se caliente y que interfiera en el funcionamiento correcto del equipo de electroterapia.

Sin embargo, es interesante este cálculo para entender el comportamiento de las resistencias en serie y de las resistencias en paralelo, que se describirá más adelante. Así, las resistencias en paralelo aumentan la sección y desciende el valor de R, pero las resistencias en serie aumentan la longitud y asciende el valor de R.

La resistencia en la materia viva se presenta bastante variable y depende de su composición y del tipo de corriente que circule por ella. Si la sustancia que compone la materia es rica en líquidos y disoluciones salinas, será buena conductora.

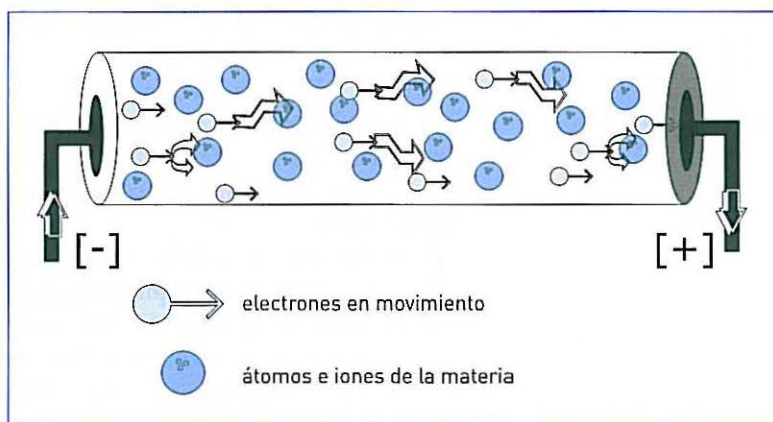


Figura 1-6. Cuando los electrones o los iones avanzan por los conductores pueden encontrar mayor o menor dificultad al desplazamiento.

Cuando la energía eléctrica debe superar varios elementos resistivos en serie, es decir, uno tras otro (Fig. 1-7), el efecto resistivo es sumativo.

$$R_x + R_1 + R_2 + R_3 + \dots R_n$$

Con todo, si las resistencias se colocan en paralelo entre sí (Fig. 1-8), el resultado resistivo del circuito es inverso a la suma de los valores inversos parciales, es decir, la energía circulará con más facilidad y, además, por la de menor resistencia. Así, la fórmula general para calcular la resultante de varias resistencias es:

$$R_x = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots \frac{1}{R_n}}$$

Si son dos las resistencias, se facilitan los cálculos con la siguiente fórmula:

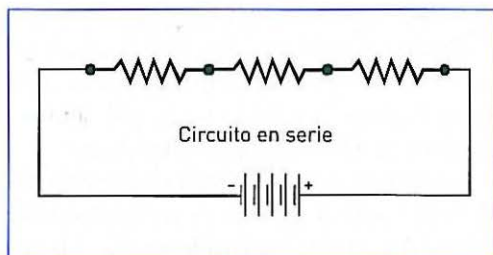


Figura 1-7. En serie, las resistencias se suman y la resultante es mayor.

$$R_x = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$

En caso de existir una tercera o más, el resultado obtenido de la primera pareja forma pareja con la tercera:

$$R_x = \left(\frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} \right) \times \frac{R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

Estos conceptos de resistencia en serie y en paralelo son importantes para entender cómo se comporta el organismo frente a determinadas aplicaciones terapéuticas. En general, frente a corrientes con fuerte efecto galvánico y los electrodos muy distantes entre sí predominan los efectos resistivos en serie. Cuando se aplica una onda corta, los efectos resistivos hacen referencia a resistencias en paralelo. Si los

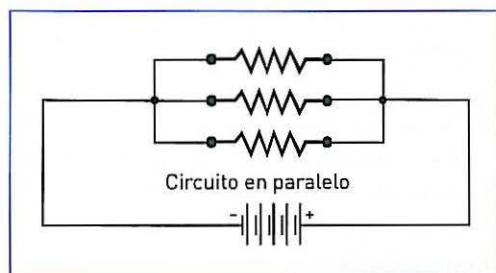


Figura 1-8. En paralelo, la resultante es menor que cualquiera de ellas porque es la suma de sus valores inversos.

electrodos son amplios y de aplicación contralateral, el efecto es resistivo paralelo. En aplicaciones longitudinales en media frecuencia, el efecto es paralelo y así sucesivamente.

Si se aplica energía eléctrica sin oscilaciones, es decir, de forma continua (galvanismo), pueden hallarse sus respectivos parámetros con las siguientes fórmulas de la ley de Ohm (Fig. 1-9).

Práctica 1-2

1. En un circuito en serie hay cuatro resistencias: $R_1 = 4.500 \Omega$, $R_2 = 2.000 \Omega$, $R_3 = 300 \Omega$ y $R_4 = 840 \Omega$. ¿Cuál es el valor resultante de R_x en el circuito?

$R_x =$

2. En un circuito paralelo hay tres resistencias: $R_1 = 580 \Omega$, $R_2 = 4.200 \Omega$ y $R_3 = 2.500 \Omega$. ¿Cuál será la resistencia resultante o R_x ?

$R_x =$

Tipos de conductores

La resistencia de la materia que es invadida por la energía eléctrica determina el tipo de conductor.

Se clasifican según la forma de conducir la energía y según su calidad como conductores:

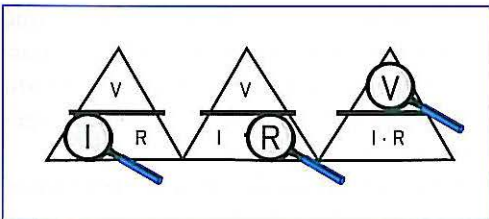


Figura 1-9. Regla mnemotécnica de la ley de Ohm. Con este esquema básico puede hallarse cualquiera de los tres parámetros al convertirlos en incógnita cuando se los amplía. Lógicamente, se deben conocer los otros dos. I: intensidad; R: resistencia; V: voltaje.

- Según la forma de transferir energía de un lugar a otro, se diferencian dos tipos de conductores:

- Los conductores de primer orden conducen los electrones directamente, es decir, los electrones de la última capa de valencia que liberan los átomos avanzan a través de los metales (cables eléctricos).
- Los conductores de segundo orden conducen energía a través de los iones en las disoluciones. El organismo es un conductor de segundo orden. Cuando se realiza una iontoforesis, la parte del circuito (electrodo-paciente-electrodo) es de segundo orden; la parte que discurre a través de los cables (electrodo-aparato-electrodo) es de primer orden.

- En cuanto a la calidad de conducción, existen tres niveles básicos:

- Buenos conductores: son los metales en general.
- Semiconductores: son algunos minerales y algunas disoluciones (depende de su resistencia).
- Malos conductores: son los materiales dieléctricos que ofrecen gran resistencia al paso de la corriente o al movimiento de los iones (cristal, plásticos, madera, etc.).

Ley de Ohm

En esta ley se considera por defecto que los cálculos aplicados tienen que ver con lo ocurrido en la unidad de tiempo, 1 s.

La ley de Ohm establece las relaciones existentes entre tres parámetros eléctricos básicos mediante una ecuación, en la cual dos variables conducen a la incógnita.

Como incógnita puede presentarse la resistencia de un conductor o de un circuito, el

voltaje de entrada o de caída en un circuito o la intensidad de paso.

Una forma fácil y resumida de trabajar con esta ley se muestra en la figura 1-9.

Práctica 1-3



1. ¿Cuántos amperios (A) y cuántos mA circulan por un paciente al cual se le aplica una corriente galvánica si se sabe que ofrece 3.500Ω con una diferencia de potencial de 32 V ?
2. ¿Cuál es la resistencia en ohmios que ofrece un paciente cuando se le aplica una corriente galvánica de 25 V y una intensidad de 9 mA ? ¿Cuántos voltios se estarán aplicando a un paciente con una corriente galvánica de 7 mA y una resistencia de 3.000Ω ?

Potencia

A partir de la ley de Ohm puede conocerse el comportamiento o trabajo (en la unidad de tiempo) de una máquina impulsada por energía eléctrica. Es la velocidad con que se realiza un trabajo y, si se utiliza esta ley, será el producto de $V \cdot I \cdot 1 \text{ s}$. En este caso se emplea para medir la velocidad con que se produce la transformación de una energía en otra, como la conversión de electricidad en calor. Su unidad es el vatio, expresado con la letra W (Fig. 1-10).

Asimismo, se la puede definir como el trabajo realizado justo en 1 s .

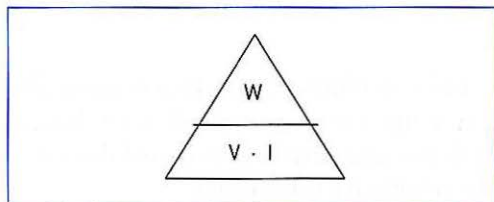


Figura 1-10. En maquinaria eléctrica, la potencia se expresa en vatios (W). I : intensidad; V : voltaje.

En realidad, la fórmula de potencia debería ser:

$$W = V \cdot I \cdot 1$$

Siendo: 1 = la unidad de tiempo, que normalmente no se escribe, pero está implícita.

Práctica 1-4



1. ¿Cuántos vatios (W) y cuántos mW se aplican a un paciente cuando soporta el paso de una corriente galvánica de 8 mA con 34 V ?
2. ¿Cuántos W se aplican a un paciente con una corriente galvánica de 6 mA y una resistencia de 2.000Ω ?

En las figuras 1-11 y 1-12 puede analizarse un caso práctico que hace referencia al comportamiento de los circuitos en serie y en paralelo, que a su vez es aplicable a la técnica de onda corta (v. Cap. 13. Efecto en serie y efecto paralelo en alta frecuencia).

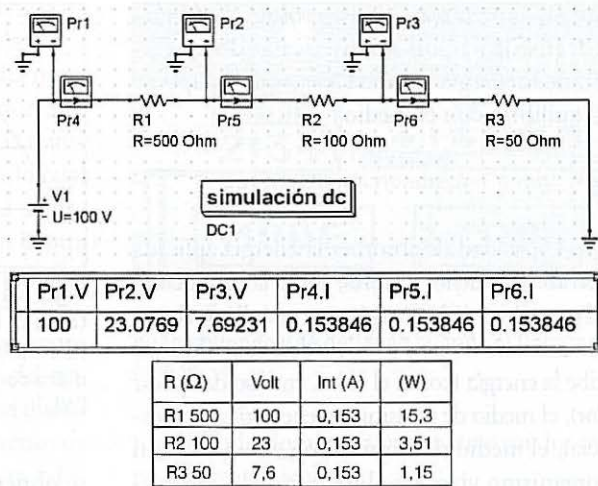


Vídeo 1-3. Concepto de potencia

En el vídeo 1-3 se da a entender que todos los objetos palpados tienen la misma temperatura, pero unos se sienten más calientes que otros. Ello se debe a la rapidez con que se trasvase la energía térmica desde cada elemento hasta la mano. Esta rapidez de trasvase energético es el concepto de potencia.

En un simulador de circuitos electrónicos se componen dos circuitos con resistencias en serie (Fig. 1-11) y con resistencias en paralelo (Fig. 1-12). En ambos casos se alimentan con 100 V . En ambos circuitos, las resistencias poseen los siguientes valores: $R1 = 500 \Omega$, $R2 = 100 \Omega$ y $R3 = 50 \Omega$.

Figura 1-11. Simulación de un circuito de varias resistencias en serie, alimentado con 100 V y sus correspondientes tomas de medida. Ver resultados en la tabla de la parte inferior de esta figura.



Si se analizan las tablas de resultados del circuito en serie, puede apreciarse que:

- El voltaje decae detrás de cada resistencia.
- La intensidad es la misma en todas ellas.
- La potencia disminuye en proporción directa a los valores resistivos.

En el circuito en paralelo puede apreciarse que:

- El voltaje es el mismo en las tres resistencias.
- La intensidad aumenta de forma inversa al valor resistivo.

- La potencia aumenta también de forma inversa al valor de las resistencias.

Cuando se trata a los pacientes con técnicas de termoterapia y éstos manifiestan que sienten quemazón o dolor por el calor excesivo, en realidad se están quejando del exceso de potencia.

Absorción de energía

Cuando los objetos, los cuerpos y, en el caso del ser humano, el organismo reciben una

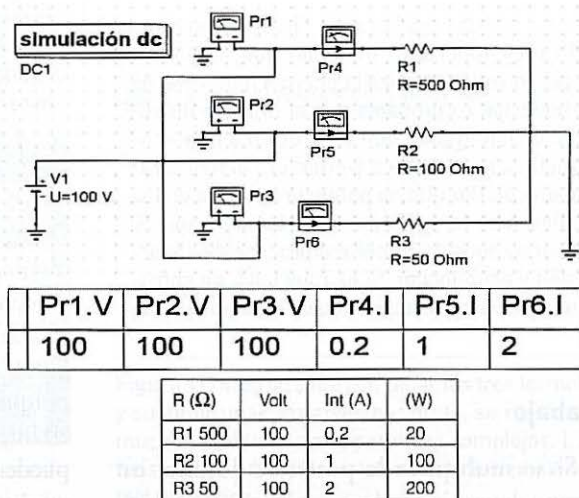


Figura 1-12. Simulación de un circuito de varias resistencias en paralelo, alimentado con 100 V y sus correspondientes tomas de medida. Ver resultados en la tabla de la parte inferior de esta figura.

energía, éstos entran en procesos de absorción, de transformación energética y de liberación de la energía aplicada hasta que recuperan su equilibrio con el medio.



Vídeo 1-4. Absorción de energía

La capacidad de absorber la energía aplicada depende de muchos factores, como la conductividad energética (a la energía que se aplica), el tipo de materia, ciertas características de la superficie que recibe la energía (como el color, en caso de aplicar calor), el medio de transmisión energética y, en especial, el medio de eliminación energética (en el organismo vivo, una buena circulación sanguínea es un buen sistema de refrigeración).

La transformación energética (en el caso del ser humano, por los tejidos vivos) puede ser más profunda o más superficial, puede concentrarse de forma selectiva en unos tejidos o en otros, puede dañar al sistema biológico si es excesiva o puede ser insuficiente para estimular el sistema biológico. Este concepto implica establecer las dosis adecuadas.

La eliminación energética siempre se produce desde el inicio de la aplicación y continúa para volver al estado de normalidad (o de equilibrio con el medio) durante los minutos o las horas siguientes a la aplicación.

Es muy importante entender que, si la rapidez con que se aplica la energía (potencia) es muy baja, es probable que el proceso de eliminación impida que se produzca una acumulación energética (verdadero efecto terapéutico). Por ello, la potencia aplicada en las diferentes terapias debe ser la adecuada. Si es muy elevada, supera al proceso de absorción y asimilación. Si es muy baja, no consigue provocar la acumulación ni la absorción.

Trabajo

Si se multiplica la potencia durante un tiempo determinado (expresado en segundos),

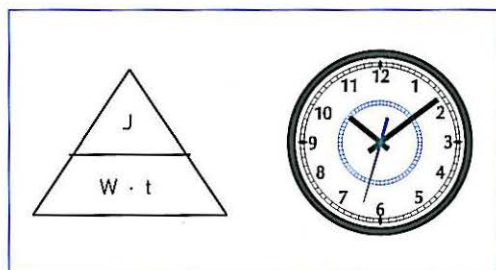


Figura 1-13. Siempre que se haga referencia a trabajo, el parámetro fundamental es el tiempo (t) empleado en conseguirlo. Si el tiempo coincidiera con la unidad (1 s), se expresaría en vatios (W). J: julios.

se obtiene el trabajo realizado. La unidad del trabajo es el julio (J) (Fig. 1-13).

Ante la diferencia conceptual entre potencia y trabajo, puede afirmarse que se trata de lo siguiente: mientras que en la potencia se aprecia la capacidad o eficacia para realizar un trabajo, en el trabajo realmente se mide lo conseguido y su valor una vez que se ha realizado, por lo que el tiempo se convierte en un parámetro fundamental. Por ello, la potencia se define como el trabajo realizado únicamente en 1 s.



Práctica 1-5

Si se colocan en dos habitaciones de idénticas características sendas estufas de manera que una sea de 500 W y la otra de 3.000 W, ¿qué habitación estará más caliente al pasar media hora?

La simple experiencia indica que, lógicamente, la estufa más potente —incluso si están desconectadas de la red eléctrica y antes de comenzar a contar la media hora—, la estufa de 3.000 W, va a conseguir antes el calentamiento porque si se sabe que va a consumir más energía en intensidad (I) y tiene menor resistencia (R), puede afirmarse de antemano y a ciencia cierta que esta estufa (la más potente) realizará antes

su cometido. En definitiva, se sabrá calcular de manera anticipada su potencial acumulado.

Una vez que ha transcurrido la media hora, se comprueba que se ha producido mayor cantidad de energía térmica procedente de la transformación de la energía eléctrica, con lo cual puede asegurarse y medirse la capacidad de trabajo de una estufa en comparación con la otra si se cuenta con los parámetros eléctricos y el adecuado manejo de la ley de Joule (Fig. 1-13).

El parámetro tiempo transcurrido (en segundos) es fundamental para la obtención del trabajo. En las figuras 1-14 y 1-15 pueden observarse dos fotografías que indican parámetros de una máquina de ultrasonidos. En la figura 1-14, el reloj indica 4:02 y, en la figura 1-15, éste señala que ha pasado el tiempo y restan 2:34 minutos.

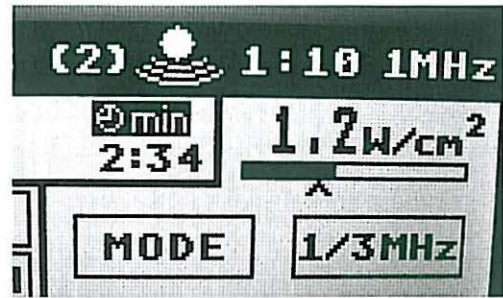


Figura 1-15. Las máquinas de ultrasonidos continúan restando y se detienen cuando el tiempo señala 00:00.

Todos los demás parámetros son los mismos, salvo el tiempo.

Siempre que se aplique energía eléctrica destinada a conseguir un trabajo mediante la transformación de dicha energía en otra nueva o distinta, la energía aplicada se medirá en vatios (W). Cuando se pretenda saber la cantidad de energía eléctrica que circula por un conductor o por la materia orgánica tratada, las mediciones se llevarán a cabo teniendo en cuenta el voltaje (V), la resistencia (R) y la intensidad (I).

Si no se conoce el voltaje (V) y desea obtenerse el trabajo realizado, para llegar a la potencia (W) utilizando de manera adecuada la ley de Ohm de la figura 1-9, se sustituirá V por $I \cdot R$, siendo $W = (I \cdot R) \cdot I$ y, por consiguiente, el trabajo en $J = I^2 \cdot R \cdot t$ (Fig. 1-16).



Vídeo 1-5. Concepto de trabajo

Práctica 1-6

Suponiendo que el cabezal se haya mantenido fijo en la misma posición:

1. ¿Habrà recibido el paciente la misma energía en el tiempo A que en el tiempo B?
2. ¿Cuál es el parámetro adecuado para medir esa energía?
3. Si un cabezal de ultrasonidos emite a un paciente una potencia de 5 W durante 8 minutos, ¿cuántos julios (J) habrá recibido el paciente?

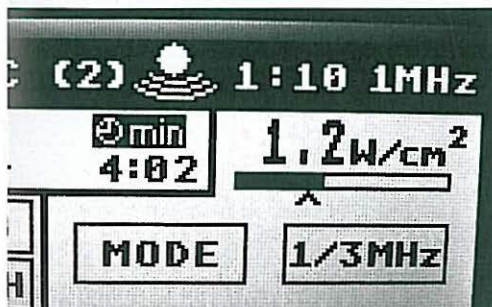


Figura 1-14. Las máquinas de ultrasonidos realizan una cuenta atrás del tiempo.

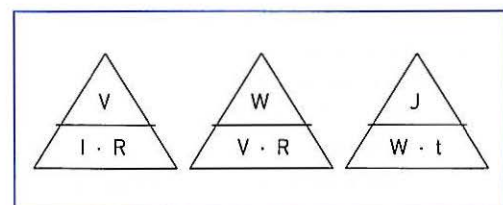


Figura 1-16. Si se sabe combinar las tres fórmulas y sustituir unas variables por otras, se resolverán muchos problemas en apariencia complejos. I: intensidad; J: julios; R: resistencia; t: tiempo; V: voltaje; W: vatios.



Práctica 1-7

En una sesión de corriente galvánica se ha medido el voltaje ($V = 35$), la resistencia ($R = 2.800 \Omega$) y el tiempo de 10 minutos. Las operaciones deben realizarse en el orden indicado.

1. ¿Cuántos julios (J) recibió el paciente?
2. ¿Cuántos vatios (W) se aplicaron al paciente?
3. ¿Cuántos miliamperios (mA) pasaron por el paciente?

Calor

El paso de una corriente eléctrica (que supere ciertos niveles de intensidad) por un conductor que, a su vez, presenta bastante resistencia generará calor en la materia que la conduce por transformación de energía.

El calor generado en los tejidos vivos se expresa según la fórmula de Joule, fundamental en electroterapia:

$$C = W \cdot t \cdot k \text{ (o también) } C = k \cdot R \cdot I^2 \cdot t$$

Al observar la fórmula, puede apreciarse que las posibles calorías que deben conseguirse dependen de unos factores que se multiplican todos entre sí.

Siendo:

$k = 0,24$ o constante de conversión de julios a calorías.

W = la potencia.

R = la resistencia del conductor.

I^2 = la intensidad al cuadrado.

t = el tiempo en segundos que se está produciendo la transformación de energía en calorías.

Calor y temperatura

Calor es la cantidad de energía térmica generada por la agitación molecular de la materia



Práctica 1-8

Supóngase que el 60% de la energía aplicada a un paciente mediante una corriente galvánica se transforma en calor. ¿Cuántas calorías se habrán generado si se le aplicaron 30 V y 7 mA durante 12 minutos?

Debe considerarse la transformación de unidades previamente y hallarse los parámetros intermedios si fuere necesario.

o provocada por el movimiento de cargas eléctricas que se produce a través de ella. Se mide en calorías (cal).

Temperatura es la concentración o densidad de calorías en un volumen determinado. Se mide en grados ($^{\circ}\text{C}$, $^{\circ}\text{K}$ o $^{\circ}\text{F}$).

La relación existente o la conversión de grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$) a grados Kelvin ($^{\circ}\text{K}$) o grados Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$) es la siguiente:

$$^{\circ}\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273,15$$

$$^{\circ}\text{F} = ^{\circ}\text{C} \cdot 1,8 + 32$$

El ejemplo que se presenta en la figura 1-17 puede dejar claros ambos conceptos.

Se echa agua en dos pilas para baños alternantes a la misma temperatura, pero a diferentes niveles. ¿Qué pileta contendrá más calorías?

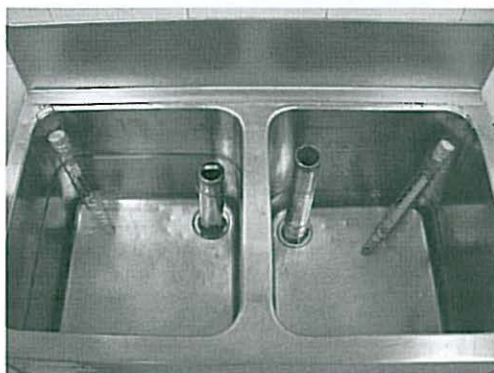


Figura 1-17. Una pila contiene más agua que otra. Ambas tienen la misma temperatura. La de mayor cantidad de agua también contiene más calorías.

rías? Lógicamente, aquella que posea más cantidad de agua porque fue necesaria más energía para que alcanzara los mismos grados que la de al lado. ¿Cuál tendrá una temperatura más elevada? Ambas por igual ya que lo demuestran los termómetros.

El calor es energía; la temperatura no es energía, sólo es la expresión de la densidad de calorías en una porción de materia por unidad de volumen.

Velocidad de transmisión energética

Según el punto de vista de la fisioterapia, de los epígrafes anteriores, referidos a potencia y trabajo, pueden extraerse dos conceptos claros: uno es la forma de aplicar la energía más o menos acelerada y otro es la cantidad de energía depositada. Así se deduce que, al aplicar una energía, puede hacerse de forma muy acelerada o lentamente. La rapidez en la aplicación de una energía introduce de forma directa el concepto de potencia, así como el de la capacidad de los tejidos para asimilarla.

No tiene nada que ver el láser quirúrgico con el terapéutico puesto que en el primero la velocidad de inyección energética es tan alta que volatiliza los tejidos. Supóngase que un pulso de 100 ms ha depositado 300 J/cm^2 . Sin embargo, la misma energía (300 J/cm^2) puede aplicarse de forma lenta durante varios minutos a fin de que los tejidos la asimilen poco a poco, como lleva a cabo el láser terapéutico.

Si se realiza una doble prueba (con el mismo tiempo para ambos casos) al introducir una mano en agua caliente y la otra en un horno de Bier, ¿por qué uno se quema la mano en agua caliente a 60°C ? Sin embargo, ¿por qué en el horno de Bier a 110°C se tolera perfectamente?

El contacto directo entre la piel y el agua permite un trasvase rápido de energía que puede lesionar los tejidos. El trasvase energético entre aire y piel es más lento, lo que permite que los tejidos lo toleren y se readapten. La capacidad de transmisión de calor entre el

agua y la piel es 20 veces superior que entre aire y piel.

Dado que en fisioterapia los objetivos que se pretenden se basan en conseguir reactivar situaciones metabólicas deficientes, nunca se aplicará la energía de forma muy acelerada, pero lo suficientemente rápido como para elevar la temperatura local 2 o 3°C , que provocarán en el sistema nervioso neurovegetativo termorregulación y otras consecuencias biológicas. En los procesos agudos, normalmente la táctica terapéutica se basa en disminuir la energía mediante aplicación de frío y en los subagudos la aplicación energética será poca y lenta.

Dosis o densidad de energía

En electroterapia se aplican, en multitud de técnicas, diversas energías en superficies corporales más o menos grandes, con electrodos de distintos tamaños y con mayor o menor duración de la sesión.

Por ejemplo, si se pretende hacer pasar una corriente de 10 mA por un electrodo de 100 cm^2 o por otro de 5 cm^2 en un tiempo determinado en ambos casos, se corre el riesgo de agredir más la piel con el pequeño mientras que el electrodo grande no llega a hacer sentir sus efectos en la zona aplicada.

Si se desea obtener siempre los mismos efectos, con independencia del tamaño de los electrodos, deben elegirse valores de referencia para la energía aplicada y la superficie tratada, cuya unidad de medida unificada servirá como dosis para cualquier aplicación, expresada en mA/cm^2 , W/cm^2 o J/cm^2 (Fig. 1-18).

Ello obliga a considerar la dosis como la energía recibida, expresada en J/cm^2 , que no la energía aplicada. En muchas de estas técnicas, no se está trabajando con la suficiente precisión y se convive con errores importantes de dosificación.

Si se presta especial atención en las fórmulas de la figura 1-18, en primer lugar se aprecia que el trabajo total (J) es igual a la potencia (W)

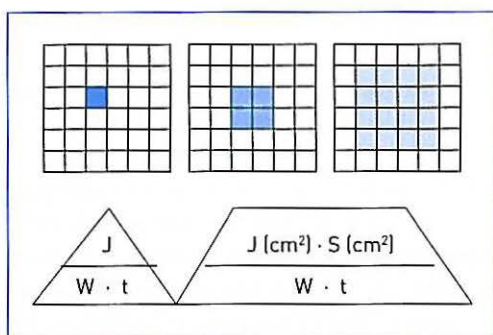


Figura 1-18. La misma energía aplicada sobre una superficie menor provocará efectos más intensos. A mayor superficie, efectos más débiles. J: julios; S: superficie; t: tiempo; W: vatios.

por el tiempo en segundos (t). En la segunda parte vuelve a observarse la misma fórmula, pero se contemplan la dosis (J en cada cm^2) y la superficie corporal tratada (S en cm^2) que también es igual a potencia (W) por tiempo. Este concepto va a ser fundamental para la dosificación en gran parte de estas técnicas. La potencia influye en la rapidez de transmisión energética y esta condición influye también en la dosis.

Práctica 1-9

1. ¿Cuántos julios (J) totales se han generado con una potencia de 2 W durante 10 minutos?
2. ¿Cuántos julios (J) totales se generarán si se aplican 15 J/cm^2 en 80 cm^2 ?

Observación sobre la dosis verdadera

Cuando se hace referencia a dosis, no puede considerarse un único parámetro (J/cm^2) ya que éste estará matizado por la rapidez de aplicación de energía (potencia), por la energía depositada al final de la sesión (J/cm^2 o J/cm^3), por la capacidad de absorción de los tejidos y por el momento en que se encuentra el proceso patológico (agudeza o cronicidad). No deben olvidarse

otros factores condicionantes, como la respuesta personal de cada paciente, que modificará el tratamiento y sus dosis en las sucesivas sesiones.

Electromagnetismo

Es la propiedad que presenta la energía eléctrica para generar un campo magnético alrededor del conductor, por el cual pasa una corriente eléctrica, o también, para generar una corriente de electrones sobre el conductor que se somete a un campo magnético (según la ley de la mano izquierda, que se describirá en el cap. 14). Si el conductor se encuentra enrollado sobre sí mismo en forma de bobina, se multiplica este efecto y así se utiliza en la práctica habitual (Fig. 1-19).

En cuanto a la generación de un campo magnético alrededor de un conductor, hay que diferenciar dos unidades diferentes:

- Cantidad de campo o flujo magnético generado, cuya unidad es el weber (Wb) o el maxwell (Mx).
- Densidad de las líneas del campo magnético, cuya unidad es el tesla (T) o el gauss (G).

El weber y el tesla están relacionados con la superficie de 1 m^2 en tanto que el maxwell y el gauss lo están con 1 cm^2 .



Videos 1-6 y 1-7. Electromagnetismo 1 y Electromagnetismo 2

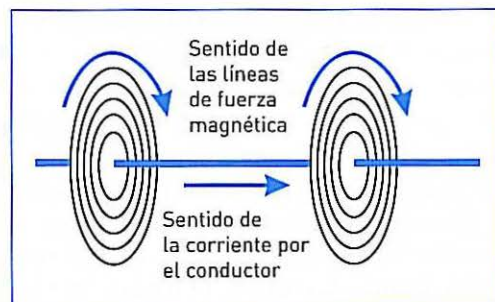


Figura 1-19. Cuando por un conductor circula energía eléctrica, se genera un campo magnético a su alrededor y viceversa.

Inductancia (autoinducción)

Es la resistencia (reactancia inductiva R_L) que opone la materia conductora a someterse al paso o cambio y a las variaciones en la corriente (intensidad) que circula por ella, o también, al corte de la corriente que circulaba por ella. En este instante se generan cargas eléctricas muy intensas y de signo opuesto al que se estaba produciendo. Es el típico chispazo que suele producirse al pulsar un interruptor o desenchufar una plancha que se está utilizando.

Capacitancia (campo de condensador)



Según el punto de vista de la fisioterapia, interesa saber que es la propiedad que tienen las cargas eléctricas de atraerse si son de signo opuesto o de repelerse si son del mismo signo.

Esto es, una carga eléctrica genera otra en su proximidad de signo contrario, se encuentran ambas sin contacto físico o intercalan materia no conductora entre las dos (Fig. 1-20) (v. «Ley de Coulomb»).

Este fenómeno en electroterapia va a ser muy importante, ya que en él se basarán mu-

chos mecanismos de actuación sobre el organismo, como el campo del condensador de la onda corta, la respuesta motora anódica, la electroforesis, los efectos foréticos en la bañera galvánica, la impedancia del organismo como circuito RC o la penetración por irradiación en microonda.

Al igual que la inductancia y debido a la propiedad de crear cargas eléctricas opuestas a la aplicada, en la capacitancia (reactancia capacitativa R_C) se va a producir un freno o resistencia a la invasión de electrones cuando se aplica un electrodo, cuando se cierra o se abre el circuito y cuando sufre variaciones el voltaje, momento en que va a perderse parte de la fuerza electromotriz aplicada.

Generadores en serie y en paralelo

Cuando se asocian varias baterías (una forma de generador eléctrico) entre sí, hay que llevarlo a cabo de forma adecuada para evitar daños a los equipos. Debe saberse que, cuando trabajan en paralelo, se mantiene el mismo voltaje (todas tienen que ser del mismo valor en V) y suman su intensidad, y, en consecuencia, aumenta la potencia (Fig. 1-21 A). En cambio, cuando se conectan en serie, se suman los voltajes pero se mantiene la misma intensidad que con una (Fig. 1-21 B). Esto es importante porque, si se colocan de forma que se supere el voltaje establecido, se quema el equipo.

Impedancia

Utilice la imaginación para representar en la mente un ejemplo de la vida cotidiana que le ayudará a entender el concepto de impedancia. Imagine un barco sobre el mar. El agua ofrece una resistencia al barco para que éste se desplace y, según la densidad del agua, esta resistencia será mayor o menor. Además, la forma del casco facilitará o dificultará el desplazamiento por el fluido. Asimismo, la fuerza

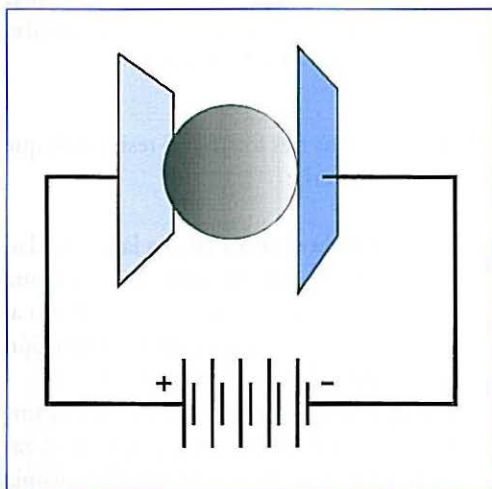


Figura 1-20. El campo del condensador es una aplicación típica de la onda corta.

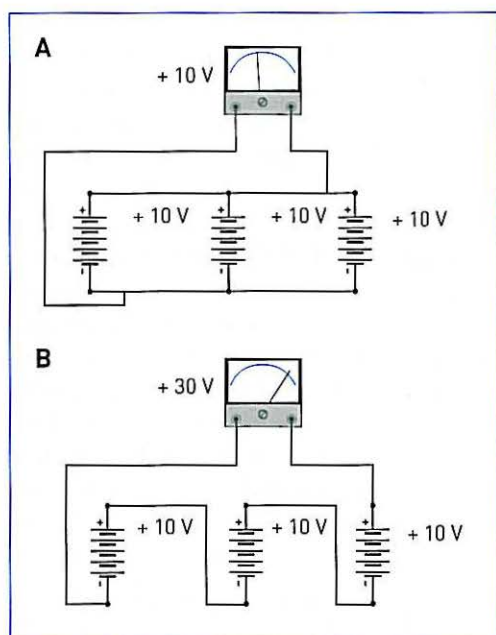


Figura 1-21. A) Circuito en paralelo. El voltaje resultante es el mismo en cualquiera de ellas. La carga eléctrica disponible aumenta. B) Se suman los voltajes de cada una de ellas.

aplicada para que se desplace será otro parámetro que condicionará el desplazamiento. ¿Qué ocurriría si se aplica una fuerza a toda máquina partiendo de una situación en que el barco se encuentra inmóvil? La masa o tamaño del buque también condicionará la inercia. La suma de circunstancias que inciden en el comportamiento de la nave sobre el fluido pueden trasladarse al terreno eléctrico, que se expone a continuación.

Impedancia es la referencia a un conjunto de cualidades que presenta la materia cuando se la somete a la energía eléctrica, sobre todo si las corrientes sufren variaciones de frecuencia, de polaridad, de intensidad o de voltaje. El organismo humano presenta cierta impedancia y ello provoca alteraciones en las corrientes que se le aplican (Fig. 1-22).

Es un concepto de complicada asimilación, pero es importante recordar las siguientes ideas básicas: es la suma vectorial (de números

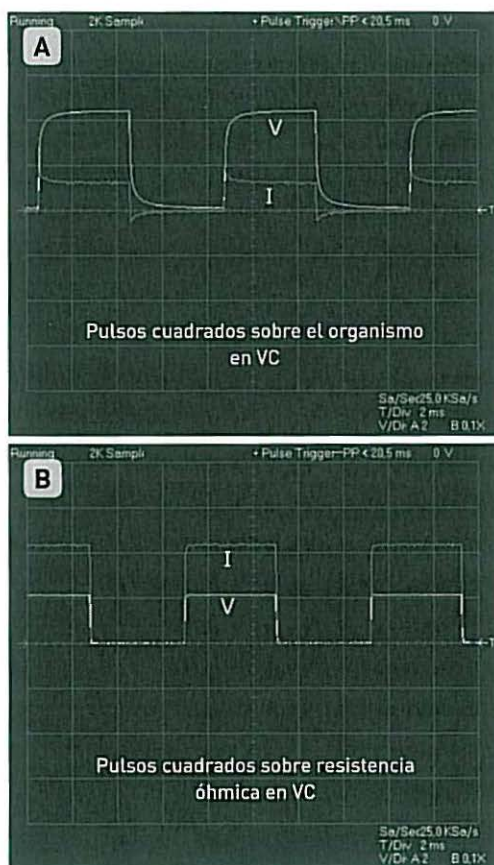


Figura 1-22. A) Pueden observarse las ondas de intensidad (I) y voltaje (V) de pulsos cuadrados sobre el organismo (deformadas por el efecto capacitivo). B) Pueden observarse las mismas ondas sobre una resistencia óhmica artificial.

complejos) de las tres formas de resistencia que presenta la materia:

- **La resistencia óhmica (R_o)** a la intensidad y al voltaje (tanto en corriente continua como en corriente variable) es un freno al paso de energía. Provoca caída en la tensión y disminuye el paso de intensidad.
- **Reactancia inductiva (R_l):** resiste el cambio de intensidad cuando la corriente es variable (sólo variable), característica propia de las bobinas; luego, trataría de reflejarse el grado de comportamiento de la materia en

cuestión, que se asemeja a una bobina, lo cual retrasa la onda de intensidad.

- **Reactancia capacitativa o capacitiva (R_C):** resiste el cambio del voltaje o fuerza electromotriz (sólo en corrientes variables), característica propia de los condensadores; se reflejaría el comportamiento como condensador de la sustancia en prueba, lo cual retrasa la onda de voltaje.

Esto significa que:

- Si la materia no presenta ningún componente de reactancia inductiva ni capacitativa, el rendimiento y la transformación en potencia es del 100 %.
- Si la materia ofrece reactancia capacitativa o inductiva muy alta, tanto que una onda respecto a la otra se retrase 90° , el rendimiento en potencia efectiva será 0 (Fig. 1-23).
- Si se retrasa la onda de voltaje 45° (reactancia capacitiva), el rendimiento es del 50 % (Fig. 1-24).
- Si la existencia de reactancia inductiva es en un grado tal que provoca el retraso de la in-

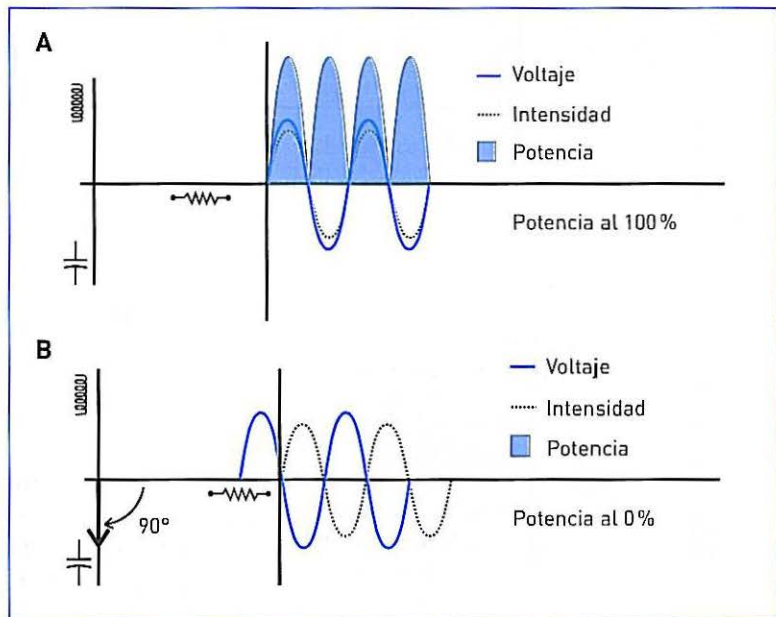
tensidad en 45° , también reduce al 50 % su rendimiento en potencia (Fig. 1-25).

En ambos casos, las ondas de intensidad o voltaje se desfasan una de la otra, pero no pierden su valor absoluto, tanto en amperios como en voltios, mientras que:

- La resistencia óhmica no desfasa las ondas sino que las hace caer en sus valores correspondientes.
- Para el cálculo de la impedancia final se vuelven a trazar de nuevo paralelogramos a las reactancias previamente calculadas (Fig. 1-26): la suma vectorial de los distintos segmentos recibirá el calificativo de impedancia final, representada con el símbolo Z y, en este caso, coincide con la horizontal y se transforma en óhmica, pero puede desplazarse hacia el sector de la inductiva o al de la capacitativa.

Todo esto es importante ya que influirá de forma directa en la potencia que en realidad se está aplicando, por la simple razón de que:

Figura 1-23. Si coinciden las ondas de voltaje e intensidad (A), el rendimiento energético es pleno. Si se desfasaran por completo (B), el rendimiento en el trasvase energético sería nulo.



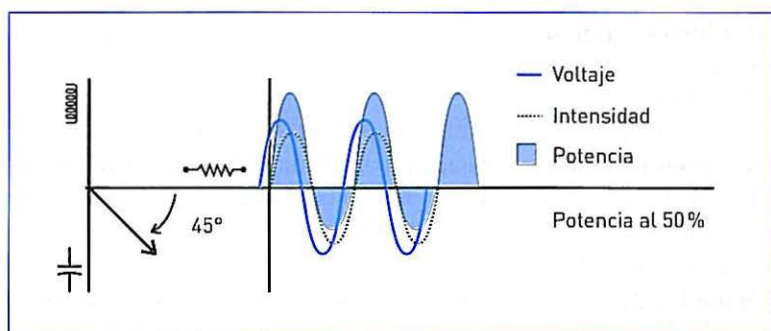


Figura 1-24. Si se desfasan 45° [en este caso, hacia la reactancia capacitativa), el rendimiento será del 50%.

Potencia = voltaje · intensidad ($W = V \cdot I$)
(en 1 s)

Es necesario conocer el comportamiento de los tejidos humanos en lo referente a su impedancia frente a las distintas formas de ondas y sus frecuencias, ya que de ello dependerán los mejores o insuficientes resultados de unas u otras técnicas (v. «Bioimpedancia», en el cap. 6).

Dado que la electroterapia de baja frecuencia, por lo general, se aplica con electrodos so-

bre la piel, cuando se haga referencia a su impedancia, se referirá a Z en ohmios por cada cm^2 de piel. Normalmente, la baja frecuencia provoca mayor impedancia en el organismo que la media frecuencia y la alta frecuencia.

Reactancia

A fin de aclarar conceptos, reactancia es un comportamiento de la materia de tipo resistivo (al retrasar 90° la onda de intensidad o la de

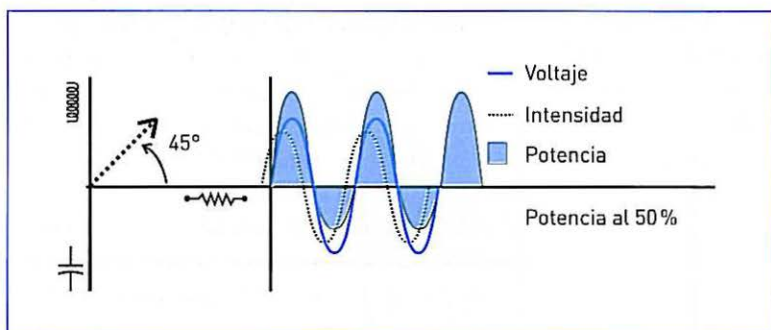


Figura 1-25. Si se desfasan 45° [en este caso, hacia la reactancia inductiva), el rendimiento también será del 50%.

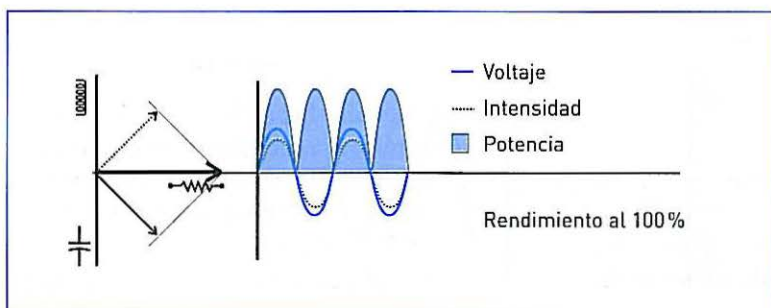


Figura 1-26. Si el desfase se produce en 45° (en ambos sentidos), vuelven a ponerse en fase las dos ondas y a conseguirse el máximo rendimiento.

voltaje) que se expresa en ohmios y que se aplica para la inductiva, R_L o X_L y para la capacitativa, R_C o X_C . Las reactancias sólo se manifiestan en corrientes variables, no en la galvánica. El organismo humano presenta resistencia óhmica (R) y reactancia capacitativa (R_C).

La inducción de las bobinas genera la reactancia inductiva y retrasa la onda de intensidad respecto a la de voltaje. La unidad de inducción es el henrio (H) y no el ohmio.

La capacidad de los condensadores provoca la reactancia capacitativa y retrasa la onda de voltaje respecto a la de la intensidad. La unidad de capacidad es el faradio (F) y no el ohmio.

Luego, R_L no es el valor de una bobina en henrios, ni R_C el valor de un condensador en faradios. La expresión en ohmios se reserva para la resistencia óhmica, la reactancia inductiva, la reactancia capacitativa, la impedancia (Z) y otros conceptos en que se implica la longitud y el volumen de los conductores.

Medida de impedancia en un osciloscopio



En definitiva, los parámetros que se pueden medir en el organismo serán la resistencia óhmica, la reactancia o capacitancia (comportamiento como condensador) y el ángulo de desfase que se produce.



Documento 1-1. Medida de impedancia en un osciloscopio



Videos 1-8, 1-9 y 1-10. Portadora de 4000 Hz, Impedancia y Medida de impedancia

Conductancia y resistencia

Si se profundiza en conceptos expuestos con anterioridad, puede afirmarse que conductancia es la facilidad que presenta la materia cuando circulan por ella corrientes de electrones:

$$\text{Conduct} = \frac{1}{R} \text{ [o también] } \frac{I}{V}$$

Es la inversa de la resistencia que ya se ha definido como la dificultad que presenta cada sustancia a que circulen por ella corrientes de electrones o cargas eléctricas.

Unas sustancias van a disfrutar con preferencia de una de las dos propiedades (conductoras o resistentes) y muchas estarán en una posición intermedia entre los extremos. Por ello puede establecerse la siguiente clasificación de las materias:

- Conductores de primer orden: poseen una excelente conductividad eléctrica y admiten mucha intensidad sin generar calor ni producir alteraciones físicas o químicas sobre la sustancia.
- Conductores de segundo orden o semiconductores: están a caballo de los dos extremos. Estas sustancias no admiten demasiada intensidad eléctrica, pero, en caso de obligar el paso de corriente, suelen presentar manifestaciones de cambios físicos o químicos dado que los iones serán los transportadores de energía.
- Materiales dieléctricos: no son conductores, disfrutan plenamente de las propiedades de la resistividad y dificultan el paso de electrones.

Entre los conductores de segundo orden se hallan aquellos que más adelante se describirán, razón por la cual es importante conocer los grados de resistividad, de conductividad o de impedancia que presentan los distintos tejidos.

Si se aplica determinada diferencia de potencial como fija e invariable, los tejidos absorberán la intensidad que permita su resistencia (aplicación en tensión constante o VC). Sin embargo, si el parámetro que se aplica como fijo e invariable es la intensidad, el voltaje se adaptará a la resistencia de los tejidos (aplicación en intensidad constante o CC).

dos del organismo a las variadas formas de las corrientes que se les aplican, sobre todo por tener influencia directa sobre la cantidad de energía que se inyecta al organismo.

Por lo expresado en el párrafo anterior, se deduce que no es lo mismo 12 mA con 5 V que 12 mA con 180 V, circunstancia que se puede presentar perfectamente según la resistencia de la materia sometida al paso de energía eléctrica.

Intensidad constante

Cuando la intensidad es el parámetro que se mantiene inalterable, aunque cambie la resistencia, se está frente a una aplicación en intensidad constante (CC), en que el voltaje se adaptará al circuito según lo establecido en la ley de Ohm:

$$V = I \cdot R$$

Así, al disminuir R, disminuye V; al aumentar R, aumenta V.

Si se aplica una intensidad fija de 50 mA y se hacen cambios en la resistencia, el voltaje sufre variaciones en el mismo sentido que la resistencia (Fig. 1-27).

Tensión constante o voltaje constante

Cuando el voltaje es el parámetro que se mantiene inalterable, aunque cambie la resistencia, se está frente a una aplicación en tensión constante (VC), en que la intensidad se adaptará al circuito según lo establecido en la ley de Ohm:

$$I = V / R$$

Así, al disminuir R, aumenta I; al aumentar R, decrece I.

Si se aplica un voltaje fijo de 50 V y se cambia la resistencia, los miliamperios sufren cambios en sentido inverso a la resistencia (Fig. 1-28).

Circuitos electrónicos estabilizados en intensidad o en voltaje

Básicamente se construyen tres tipos de circuitos electrónicos:

- Circuitos sin estabilizar: en ellos, el equipo aporta un voltaje y, dependiendo de la resistencia, permite el paso de la intensidad que corresponda según la ley de Ohm, pero, cuanto mayor sea el aporte energético, más caerá el voltaje. Al igual que en un circuito hidráulico, cuando se abre un grifo en los otros disminuye algo la presión. Asimismo, cuanto mayor sea el caudal, más disminuirá la presión en los otros grifos.
- Circuitos estabilizados en tensión o voltaje: en ellos, el equipo aplica los voltios prefijados.

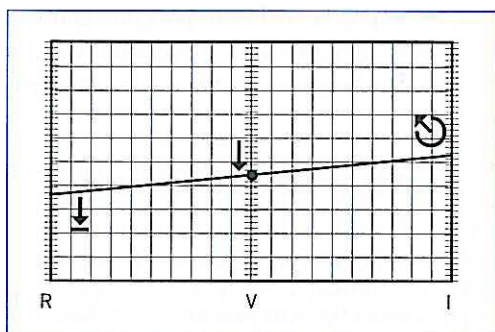


Figura 1-27. Si la intensidad es el parámetro constante o fijo, cuando disminuye R, también disminuye V. I: intensidad; R: resistencia; V: voltaje.

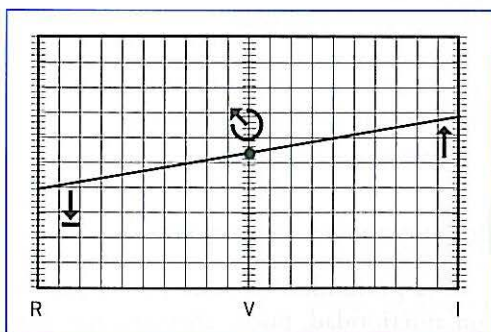


Figura 1-28. Si se pivota sobre el voltaje, por ser el parámetro fijo, cuando baja R, sube la intensidad. I: intensidad; R: resistencia; V: voltaje.

dos de manera que, aunque cambie la resistencia, no disminuye el voltaje, pero se adapta la intensidad según la ley de Ohm.

- Circuitos estabilizados en intensidad o corriente: en ellos, el equipo suministra la intensidad ajustada, pero el voltaje se adaptará a la resistencia según la ley de Ohm.

Los estimuladores de baja y media frecuencia por lo general trabajan en modo corriente constante (estabilizada) y voltaje constante, pero sin estabilizar. El hecho de no estabilizar el voltaje contribuye a evitar quemaduras, ya que si aumenta la intensidad (por disminución de la resistencia), también disminuye en cierto grado el voltaje. La potencia del equipo influye mucho en este caso.



Práctica 1-10

1. Si un equipo trabaja en CC y siempre mantiene 12 mA, pero la resistencia cambia y se miden (del 1 al 4), en los sucesivos minutos, 4.200 Ω , 3.000 Ω , 2.900 Ω y 2.850 Ω , ¿cuál será la potencia en cada minuto?

1 =
2 =
3 =
4 =

2. Si un equipo trabaja en VC y siempre mantiene 32 V, pero la resistencia cambia y se miden (del 1 al 4), en los sucesivos minutos, 4.200 Ω , 3.000 Ω , 2.900 Ω y 2.850 Ω , ¿cuál será la potencia en cada minuto?

1 =
2 =
3 =
4 =

Resistencia de los electrodos



Los electrodos usados en electroterapia de baja y media frecuencia manifiestan una resistencia determinada que depende de la materia que los componga, del grado de humedad, de

la presión ejercida sobre la piel y del tamaño del electrodo.

La resistencia y el tamaño del electrodo se relacionan de modo inverso, es decir, a menor tamaño, mayor resistencia y a mayor tamaño, menor resistencia (Figs. 1-29 y 1-30).



Vídeo 1-11. Medidor de electrodos

Esta variante influye directamente en la dosis expresada en mA/cm², que se convierte en otra razón más por la que debe controlarse de manera simultánea la intensidad y el voltaje a fin de sustituir la expresión mA/cm² por la de W/cm² o la de J/cm², mucho más precisas para evitar los temidos riesgos de quemadura.



Vídeo 6-2. Galvanopalpación en VC y en CC

Como más adelante se describirá, habrá que utilizar y tratar de corrientes de determinadas frecuencias, de longitudes de onda y períodos. Por todo ello, será necesario entender y manejar los conceptos que se describen en el siguiente apartado.

PARÁMETROS DE MEDIDA EN CORRIENTES VARIABLES

Ciclo

Un ciclo es la cadencia completa de una onda, con pausas o sin ellas, desde el momento

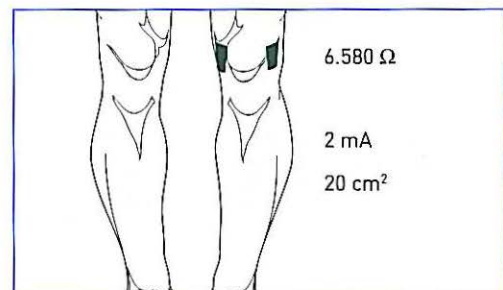


Figura 1-29. Con electrodos mayores se miden unos 30 Ω por cada cm².

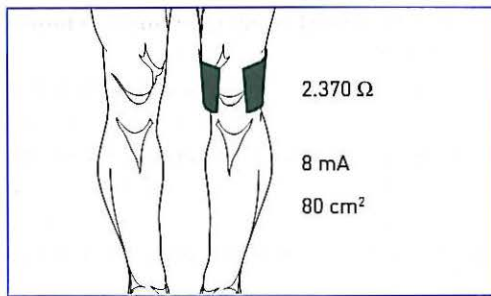


Figura 1-30. Los electrodos pequeños ofrecen mayor resistencia por unidad de superficie (329Ω por cada cm^2).

en que se inicia hasta que comienza la siguiente (únicamente se considera la forma por observación visual; Fig. 1-31).

Período

Es el tiempo que dura una cadencia o ciclo completo (Fig. 1-32).

Frecuencia

Es el parámetro que informa de la variante relativa al número de repeticiones con cierta regularidad en cada unidad de tiempo (el segundo), es decir, el número de veces que se repite una cadencia en 1 s, expresada en hercios (Fig. 1-32).

Con estos tres factores (unidad de tiempo, frecuencia y período) ya puede calcularse cualquiera de ellos cuando sea expuesto como incógnita en el siguiente planteamiento.

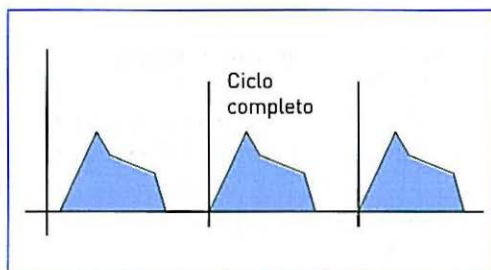


Figura 1-31. En cualquier forma repetitiva y cadencial se puede establecer un inicio y un final de los ciclos repetitivos.

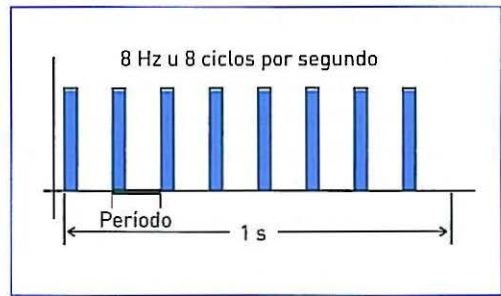


Figura 1-32. Los 8 pulsos con sus reposos están contenidos en 1 s. Por ello se tienen 8 Hz. Entre el segundo y el tercero, un vector indica el tiempo transcurrido; se trata del período o tiempo del ciclo.

Esta fórmula (Fig. 1-33) se empleará, sobre todo, en baja frecuencia aunque también puede utilizarse en alta frecuencia, siempre con la precaución de trabajar con los tiempos en la unidad adecuada, es decir, no se puede dividir segundos del numerador entre milisegundos del denominador (si *a posteriori* no se corrige).

A continuación se presentan algunos ejemplos:

- Quiere aplicarse una corriente analgésica formada por impulsos cuadrangulares de 2 ms a una frecuencia de 33 Hz. ¿Cuál será el período?

$$P = \frac{1 \text{ s}}{F} = \frac{1}{33} = 0,030 \text{ s} = 30 \text{ ms}$$

Si el período son 30 ms y 2 ms son para el impulso, 28 ms restarán para el reposo (Fig. 1-34).

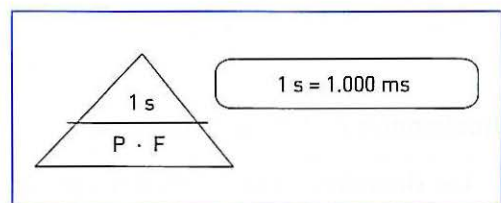


Figura 1-33. Fórmula para calcular el período y la frecuencia en baja frecuencia. F: frecuencia; P: período.

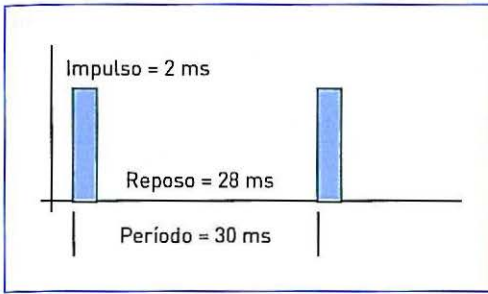


Figura 1-34. Tiempo de pulso y tiempo de reposo.

- Se sabe que la corriente de Trabert está formada por impulsos de 2 ms y reposos de 5 ms. ¿Cuál es su frecuencia? (Fig. 1-35).

$$F = \frac{1 \text{ s}}{P} = \frac{1}{2+5} = \frac{1.000}{7} = 142,8 \text{ Hz}$$

- En una situación determinada, se decide la aplicación de trenes de farádicas con impulsos de 1 ms y los reposos correspondientes para obtener 65 Hz. ¿Cuál será el reposo adecuado?

Tendrá que conocerse el período de cada ciclo y restarle el tiempo del impulso para que quede sólo el reposo. Entonces:

$$P = \frac{1 \text{ s}}{F} = \frac{1}{65} = 0,015 \text{ s de período}$$

$$P - t.\text{imp} = t.\text{rep} \Rightarrow 0,015 - 0,001 = 0,014 \text{ s} = 14 \text{ ms}$$

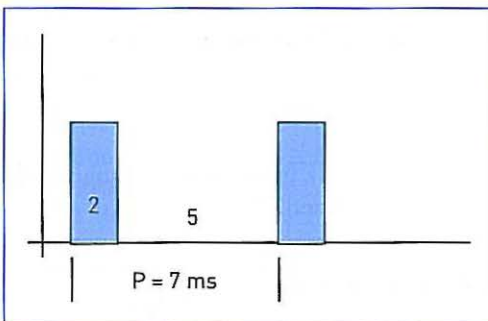


Figura 1-35. Corriente de Trabert formada por 2 ms de pulso cuadrangulares y 5 ms de reposo. P: período.

Así pues, serán necesarios 14 ms para formar un tren de corrientes farádicas con un tiempo de impulso de 1 ms y una frecuencia de 65 Hz.



Vídeo 1-12. Cambios de frecuencia

Es frecuente que en fisioterapia se haga referencia a diversas frecuencias (de las cuales en ocasiones se confunden sus conceptos). Así, puede encontrarse con:

- Frecuencia de la corriente: se refiere a lo explicado en los párrafos anteriores.
- Frecuencia de trenes: indica el número de ráfagas o trenes que se aplican en un minuto, por lo cual la unidad de tiempo deja de ser el segundo para tomar el minuto (forma de medir los trenes poco aconsejable).
- Frecuencia de tratamiento: indica el número de veces que se repite un tratamiento o una técnica y cuyo tiempo de referencia suele ser un día (o, tal vez, la semana).

Longitud de onda

Dado que el concepto de longitud de onda hace referencia a metros lineales y no a tiempo (como en el período) se presentará la siguiente definición: es la distancia en metros que avanzaría un ciclo completo durante el tiempo de su período, es decir, el cociente de dividir la velocidad de propagación de las ondas estudiadas entre su frecuencia. La velocidad de propagación será la constante. Para las ondas electromagnéticas, por lo general, se toma la velocidad de la luz en el vacío o en el aire como referencia.

La localización gráfica sobre la representación de una onda va a coincidir con el período, pero, mientras éste se valora en tiempo, la longitud de onda se expresa en metros por segundo; por ello, su unidad se formula en velocidad (Fig. 1-36):

$$\begin{aligned} \text{Velocidad de propagación} &= \\ &= \text{longitud de onda} \cdot \text{frecuencia} \end{aligned}$$

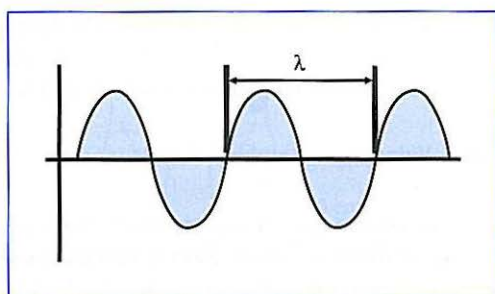


Figura 1-36. El vector que indica la distancia entre el inicio de una onda positiva y el inicio de la siguiente es la longitud de onda (λ).

La velocidad de propagación (también velocidad de la luz) y la longitud de onda se expresan en metros.

Se tendrá la precaución de operar de manera que las conversiones entre parámetros de velocidad de propagación o longitud de onda se hallen en el mismo nivel de unidad.

Esta formulación (Fig. 1-37) se va a emplear, sobre todo, para calcular los parámetros de las altas frecuencias aunque también se puede aplicar con las bajas. En general, puede afirmarse que es la fórmula característica cuando se opera con el espectro electromagnético y formas de ondas alternas regulares en cuanto a su forma y repetición.

Siempre que se necesite saber la relación existente entre impulso y reposo (cuando éstos no sean iguales), se acudirá a la fórmula del período aunque se trate de alta frecuencia. Estas circunstancias se presentarán cuando se trabaje con alta frecuencia pulsátil, con el láser pulsante o con ultrasonidos pulsantes.

A continuación se presentan algunos ejemplos:

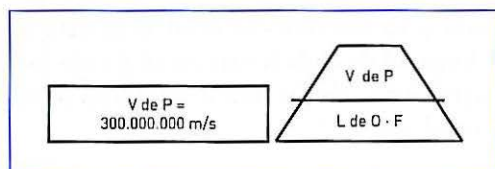


Figura 1-37. Fórmula para trabajar con alta frecuencia.

- Cuando se aplica termoterapia de 11 m, ¿qué frecuencia se está usando?

$$F = \frac{\text{Velocidad de la propagación (m/s)}}{\text{Longitud de onda (m)}} = \frac{300.000.000}{11}$$

$$= 27.272.727 \text{ Hz} = 27 \text{ MHz}$$

- ¿Se está haciendo referencia al mismo tipo de termoterapia al afirmar que 2.450 MHz es lo mismo que 69 cm de longitud de onda? Puesto que se dispone de frecuencia y longitud de onda, la única operación lógica que puede realizarse entre ambas es multiplicarlas entre sí para obtener la velocidad de propagación. Si el producto no es igual o está muy próximo a dicha constante (por errores decimales), evidentemente no se hace referencia a la misma corriente:

$$\begin{aligned} \text{Velocidad de propagación} &= \\ 2.450 \text{ MHz} \cdot 69 \text{ cm} &= (\text{se realiza} \\ \text{la conversión}) 2.450.000.000 \cdot 0,69 &= \\ 1.690.500.000 \text{ (m/s)} & \end{aligned}$$

La velocidad no tiene nada que ver con los 300.000.000 m/s de la luz. Así pues, según el resultado obtenido, no se hace referencia a la misma corriente.

- ¿Cuáles serán los otros dos parámetros que corresponden, respectivamente, a los datos referidos en el caso anterior?:
 - 2.450 MHz (para hallar su longitud de onda correspondiente).

$$\text{Long. de onda} = \frac{\text{Veloc. de propagación (m/s)}}{F \text{ (Hz)}}$$

$$= \frac{300.000.000}{2.450.000.000} = 0,122 \text{ m} = 12 \text{ cm}$$

- 69 cm (para hallar su F correspondiente).

$$F = \frac{\text{Velocidad de la propagación (m/s)}}{\text{Longitud de onda (m)}}$$

$$= \frac{300.000.000}{0,69} = 434.780.000 \text{ Hz}$$

$$= 434,7 \text{ MHz}$$



Práctica 1-11

1. ¿Qué frecuencia tiene una corriente de pulsos de 3 ms y reposos de 6 ms?
2. ¿Cuál es el reposo de una corriente con pulsos de 2 ms y frecuencia de 125 Hz?
3. ¿Cuál es el período de una corriente de 4.000 Hz?
4. Una corriente formada por pulsos de 4 ms y reposos de 4 ms tiene una frecuencia de 100 Hz, ¿es cierto?
5. ¿Cuál es la longitud de onda de 15 MHz?
6. ¿Cuál es la frecuencia de 300 m de longitud de onda?
7. ¿Cuál es la frecuencia de 1 m?
8. ¿Qué longitud de onda tienen 900 MHz?

Efecto batido o de interferencia

Cuando dos frecuencias o más se cruzan o se entremezclan en un punto de la materia, dan como resultado otra frecuencia que va a ser la diferencia entre las mezcladas.

Si se aplican 4.000 Hz de un circuito y 4.100 Hz de otro, se conseguirá una nueva frecuencia de:

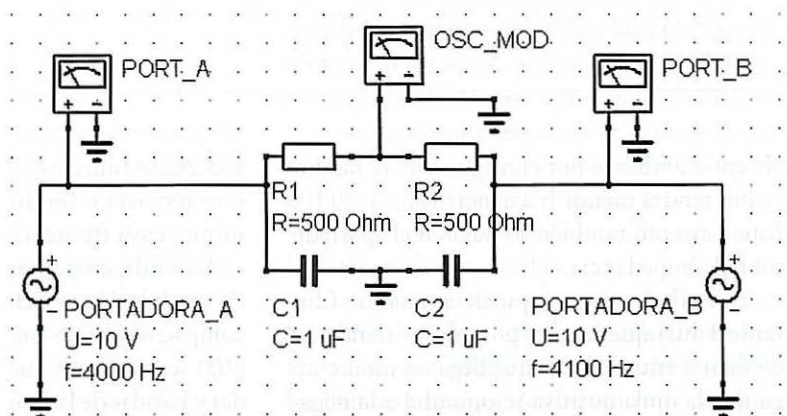
$$4.100 - 4.000 = 100 \text{ Hz de modulación}$$

Se diseña mediante *software* un circuito que simula al paciente compuesto por dos resistencias y dos condensadores (Fig. 1-38). Este conjunto está duplicado para simular lo que ocurre en el interior del cuerpo.

Se aplican las dos portadoras, la A de 4.000 Hz y la B, de 4.100 Hz y podrá simularse lo que ocurre antes de aplicarlas al organismo y dentro del organismo. Estos resultados pueden apreciarse en las figuras 1-39 A y B.

Este fenómeno de modulación se debe al desfase entre las crestas de las ondas, de manera que, si coinciden en el mismo instante dos crestas positivas, se producirá un efecto sumativo (Fig. 1-39 A); si coinciden en el mismo instante una cresta positiva y otra negativa, se producirá una anulación mutua y aparecerá la ausencia de energía por diferencia de frecuen-

Figura 1-38. Sobre el conjunto de las dos resistencias y los dos condensadores (tejidos vivos) se aplican la portadora A y la portadora B. Con el OSC_MOD se simula lo que ocurre dentro del organismo. Con PORT_A y PORT_B puede verse cada portadora.



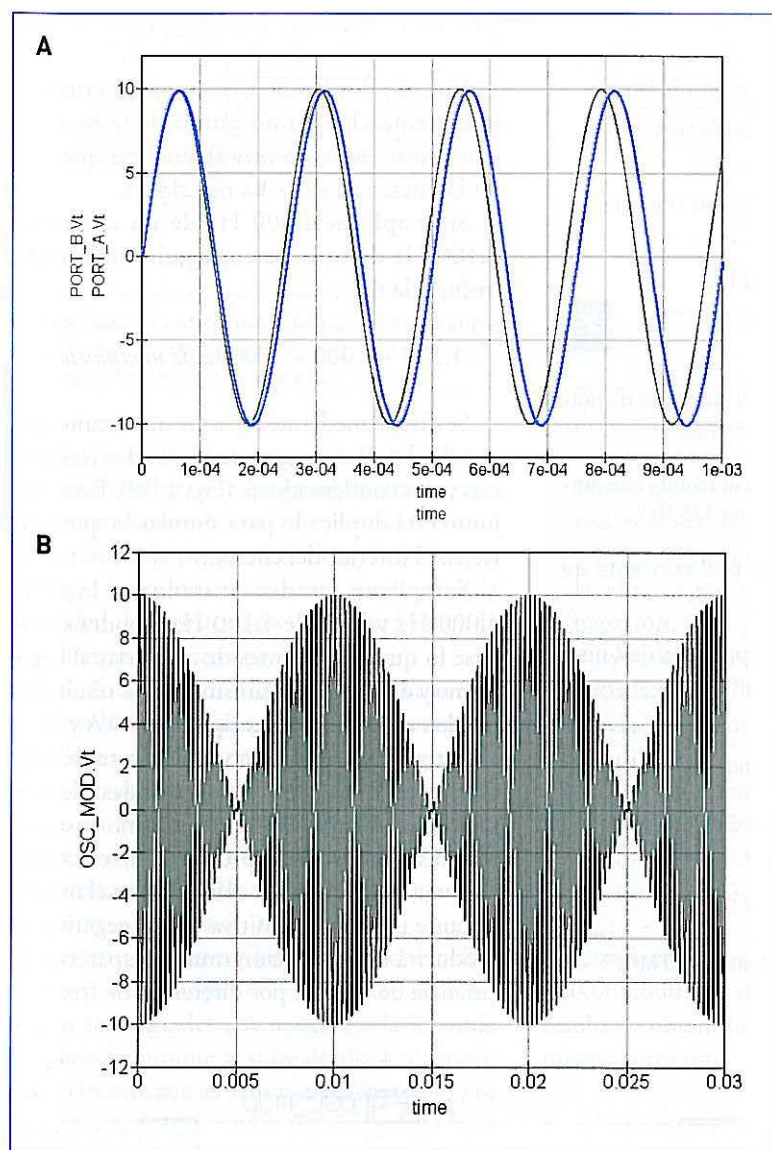


Figura 1-39. A) El desfase progresivo entre las dos ondas provocará que se anulen momentáneamente. B) Se muestra el resultado de la modulación en el organismo. OSC_MOD.

cia entre ambas y, por consiguiente, la modulación tendrá menor frecuencia (Fig. 1-39 B). Este concepto también se trata en el apartado sobre la impedancia.

En la figura 1-39 A puede apreciarse (durante 1 ms) que las dos portadoras tienden a desfasarse entre sí hasta que llega un momento en que la onda positiva se opone a la negativa para anularse. En la figura 1-39 B puede

apreciarse (durante 30 ms) el resultado de la interferencia o modulación dentro del organismo, cuya frecuencia es de 100 Hz.

La onda correspondiente a la frecuencia de modulación tiende a dibujarse como algo compacto y sólido cuando realmente (si se amplía) se encuentra que está formada por subidas y bajadas de las portadoras. Es el fenómeno de modulación en amplitud (Fig. 1-40). Estas

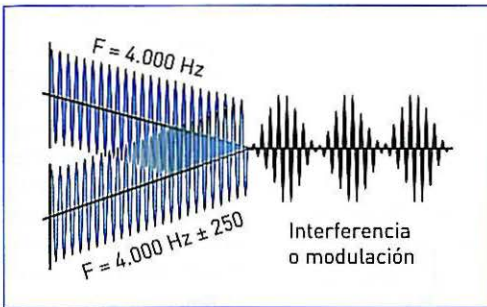


Figura 1-40. Las corrientes interferenciales consisten en hacer batir o converger dos circuitos con diferentes frecuencias (dos portadoras) para obtener una nueva (modulada), que es la resta entre los valores de ambas portadoras.

modulaciones en amplitud pueden conseguirse electrónicamente mediante diversos métodos. En este caso se expone la producida en el interior del organismo por efecto batido de dos corrientes, pero los modernos equipos de electroterapia producen electrónicamente la modulación de formas muy variadas.

Transformación de energía en calor

En el interior orgánico se generará calor con diferentes técnicas de fisioterapia, como corriente galvánica, onda corta, microonda, ultrasonidos, infrarrojos, etc. En esencia, estas técnicas se basarán en los tres fenómenos físicos que se describen a continuación.

Efecto Joule

Cuando una energía circula a través de la materia y según la resistencia que oponga ésta a que por ella circule la energía, las moléculas que componen dicha materia estarán sometidas a agitación y roces, que producirán una nueva energía, generada por la aplicada, que será transformada en otra nueva y distinta (normalmente calor; Fig. 1-6).

Los fisioterapeutas utilizarán este fenómeno en aplicaciones de baja y alta frecuencia para

generar calor dentro de los tejidos orgánicos, de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$C = k \cdot R \cdot I^2 \cdot t$$

equivalente a

$$J = (W \cdot t) \cdot k$$

Siendo: C = calorías generadas, $k = 0,24$ (constante de conversión de julios a calorías), R = resistencia de la materia, I^2 = intensidad al cuadrado, t = tiempo en segundos, J = julios y W = potencia aplicada.

Movimiento browniano

Cuando se hace referencia a movimiento de cargas eléctricas dentro del organismo (dado que el organismo realmente es una disolución), no van a moverse electrones, pero se moverán los electrólitos disueltos en el agua de los tejidos.

Los iones y las moléculas se desplazan dentro de la materia de forma constante, unos con relación a otros, para producir nuevas moléculas y disociar otras de manera que dicho movimiento o agitación generará o irradiará ondas electromagnéticas en forma de calor (Fig. 1-41).



Vídeo 1-13. Movimiento browniano

Cuanto más se agiten las moléculas por aporte de nuevas energías (onda corta, ultrasonidos o campos magnéticos), más energía térmica se generará, podrán calcularse las calorías generadas y expresarlas en julios $\cdot 0,24$.

La energía aplicada puede expresarse en vatios (W) y los julios (J) se obtendrán después de haber transcurrido un tiempo en segundos.

Sin movimiento browniano, la materia se hallaría en el cero absoluto.

Puede imaginarse una mesa de billar con bastantes bolas y todas en movimiento aleatorio, con sus choques entre sí, choques con las bandas y constantes cambios de sentido. Cuanto mayor sea la fuerza que se aplique a las

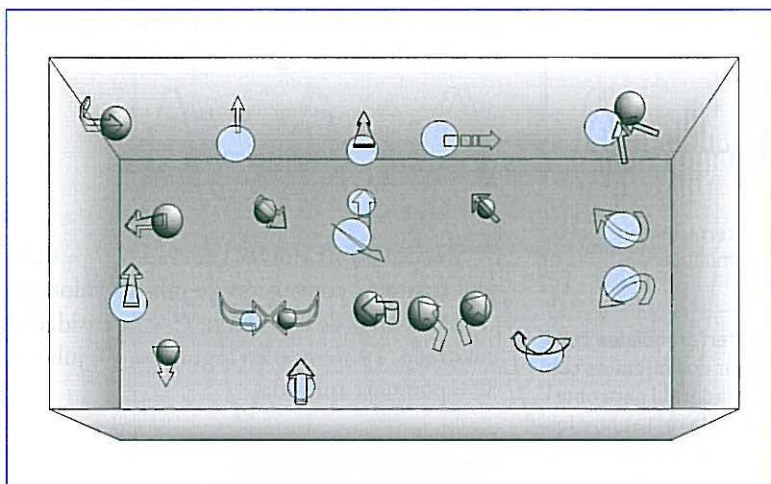


Figura 1-41. En un espacio imaginario de una disolución orgánica, los iones y las moléculas contenidos están en continuo desplazamiento de un lugar a otro, atraídos y repelidos por las cargas eléctricas del disolvente y de otras moléculas o iones próximos.

bolas, mayores serán las posibilidades de contactos y generación de nuevas energías.

Agitación y vibración molecular

La materia presenta sus respuestas específicas ante la energía térmica, por el movimiento browniano de los iones y por la oscilación propia de cada molécula.

Las moléculas no poseen una forma totalmente estática, a semejanza de su representación, sino que, debido a las tensiones eléctricas entre los distintos átomos, se hallan en constante vibración en diferentes ejes de su forma (Fig. 1-42).

Estas oscilaciones emiten radiaciones electromagnéticas en las bandas de infrarrojos, microondas e, incluso, en el espectro luminoso.

Dichas ondas electromagnéticas también son energía generada en la materia que contribuye a mayores intercambios electroquímicos y aumentos del movimiento browniano.

La vibración molecular se estimula con aplicación de ondas electromagnéticas, como la microonda. La resonancia nuclear magnética es otro ejemplo de este fenómeno.

FORMAS DE ELECTRICIDAD

Las formas de manifestarse la energía eléctrica son dos: estática y dinámica.

Electricidad estática

En este caso, ésta se manifiesta al producirse cargas eléctricas de un signo o de otro, en

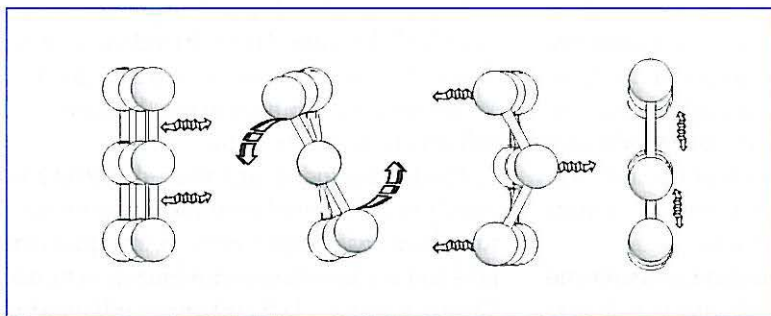


Figura 1-42. La forma molecular no es estable, es vibratoria. Dicha oscilación y vibración genera energía. Cuanto mayor sea la oscilación, mayor será la liberación energética.

un punto o lugar determinado de la materia, sin que haya desplazamiento de electrones. Se produce por reacciones químicas (disoluciones de electrolitos), por rozamiento, por calentamiento, por presiones mecánicas, al tener próximas otras cargas eléctricas y no existe movimiento de electrones entre las dos cargas. Cuando se establece un puente conductor con otra zona de distinto potencial eléctrico o se rompen los equilibrios químicos que mantenían dicha polarización de cargas, para equilibrarse ambas zonas eléctricamente, la electricidad se traslada y se convierte en dinámica.

Pueden existir distintos niveles de carga, pero lo que importa es la razón o diferencia entre dos que se relacionen (Fig. 1-43).

Esta forma de electricidad se aprecia dentro de la materia viva, en las polarizaciones de las células, los equilibrios iónicos en el líquido intersticial o la polarización eléctrica en el sistema nervioso cuando éste se encuentra en reposo. Son ejemplos que pueden servir para comprender el fenómeno aunque no debe confundirse movimiento de cargas entre dos masas eléctricas con el movimiento o agitación de cargas dentro de cada masa eléctrica. Véase la ley de Coulomb en este capítulo.

Electricidad dinámica

Se objetiva porque en la materia hay movimiento de electrones entre dos cargas eléctricas de $[-]$ a $[+]$ (Fig. 1-44).

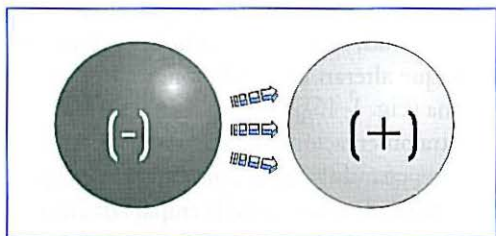


Figura 1-43. La diferencia de cargas sin comunicarse directamente genera fuerzas entre ambas que son muy útiles en ciertos fenómenos biológicos.

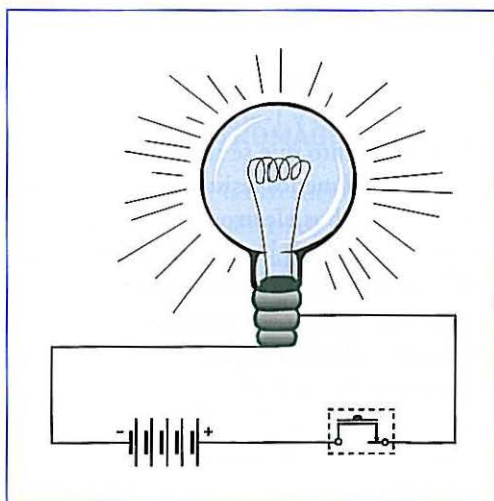


Figura 1-44. El movimiento de cargas eléctricas a través de los conductores eléctricos provoca el paso por el filamento de la lámpara y su trabajo correspondiente.

Esto se produce de dos formas:

- Cuando los electrones saltan de átomo en átomo, por sus órbitas más externas, para ocupar el hueco dejado por el electrón anterior que se movió y así sucesivamente. Se presenta en los conductores de primer orden.
- Al provocar que los iones de una disolución, con sus respectivas cargas eléctricas (átomos desequilibrados de forma eléctrica), se muevan a través de la disolución hasta los puntos de aplicación de la fuerza electromotriz, donde liberarán o captarán electrones para reaccionar químicamente y llegarán a producir una corriente de electrones, la electrólisis. Se presenta en los conductores de segundo orden.

ELECTRÓLISIS Y ELECTROFORESIS

Es el fenómeno por el cual se ponen en movimiento los iones de una disolución al ser sometida al paso de corriente eléctrica de forma continuada, polarizada y sin oscilaciones (corriente continua o galvanismo) mediante dos

electrodos que se aplican o se introducen en la disolución enfrentados y separados entre sí. Uno recibe el nombre de cátodo y el otro, el de ánodo (Figs. 1-45 y 1-46).

El movimiento que se imprime a los iones es el óptimo, el menos resistente o el de la línea recta entre ambos electrodos de manera que los iones con carga $[-]$ se dirigen en sentido del ánodo $[+]$; éste recibe los electrones que llevan en exceso, circunstancia que da el nombre a los iones que a él llegan: aniones.

Asimismo, al electrodo cátodo $[-]$ llegan los iones $[+]$ o cationes, del cual toma los electrones que le hacen falta para convertirse en átomo neutro.

Tanto los cationes $[+]$ como los aniones $[-]$, al llegar a su electrodo correspondiente, son sometidos a una reacción electroquímica, por la cual cambian sus características físicas y químicas, con lo cual muestra que es muy distinto el mismo elemento o compuesto en cuanto a ion que en cuanto a elemento neutro.

Dentro del organismo vivo, nunca deben permitirse situaciones en que los elementos o compuestos moleculares que forman las disoluciones orgánicas se encuentren como átomos neutralizados: siempre se mantendrán como iones, excepto en algunas técnicas muy concretas.

Al aplicar galvanización al organismo, en los polos se acumulan elementos químicos en elevada concentración, lo que produce alte-

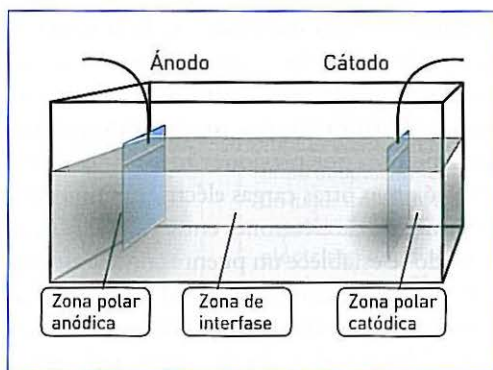


Figura 1-46. En las proximidades de los electrodos se van concentrando los iones arrastrados por la energía aplicada, los aniones hacia el ánodo y los cationes hacia el cátodo.

raciones de la disolución, que localmente sufrirá concentraciones exageradas de alcalinidad y acidez, en el cátodo y en el ánodo, respectivamente. La alcalinidad o la acidez en exceso provocará quemaduras químicas en la materia orgánica próxima a los electrodos.

Este comportamiento, que resulta importantísimo, indica que hay tres zonas bien delimitadas en las disoluciones sometidas a electrólisis y/o electroforesis:

- Dos zonas próximas a los electrodos o polares.
- Una zona intermedia entre ambos electrodos o de interfase.

Mientras que en la zona de interfase los iones se mueven en ambos sentidos, aquellos que escapan a las zonas polares se vuelven a hidrolizar; en éstas, se producen concentraciones iónicas que alteran las condiciones químicas de la zona (Fig. 1-46).

Otra observación digna de mención es la siguiente: cuando se aplica galvanismo, se practica a través de una esponjilla empapada en agua o disolución salina sobre la piel, de manera que, si se originan reacciones químicas intensas en el electrodo, se producirán en la gamuza y no en la piel. Por lo tanto, la piel frena el desplazamiento

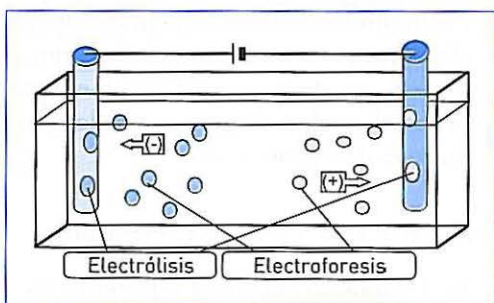


Figura 1-45. Electrólisis o electrolisis es el fenómeno que se produce al tocar el electrodo. Electroforesis es el desplazamiento antes de llegar a los electrodos.

de iones hacia los electrodos. En la piel no se producen las reacciones electroquímicas de los electrodos y, si ésta se altera, es por exceso de pH en un sentido o en el otro.



Vídeo 1-14. pH en cubeta

Ley de Faraday

La ley de Faraday regula la cantidad de iones que se desplazan por la disolución para alcanzar el electrodo opuesto a su signo eléctrico y convertirse en átomos neutralizados. Su enunciado afirma: la cantidad, expresada en masa, de iones o solutos, contenida en una disolución que se deposita o reacciona con los electrodos durante un tiempo, es directamente proporcional a la cantidad de energía eléctrica aplicada en el mismo tiempo. Y, cuando la misma corriente pasa por varias cubetas electrolíticas en serie, las masas liberadas de cada sustancia son proporcionales a sus equivalentes electroquímicos.

Esta ley se aplica en los procesos de electrólisis o baños galvánicos de los metales cuando son recubiertos por otro metal que los protege o embellece. Su fórmula es como sigue:

$$m = k \cdot I \cdot t$$

Siendo: m = la masa depositada, k = el equivalente electroquímico, I = intensidad de la corriente en amperios y t = tiempo en segundos.

Cuando se tenga en cuenta la cantidad de medicamento introducido con la iontoforesis, se aplicará la siguiente modalidad:

$$\text{mg} = \frac{pm \cdot \text{mA}}{v \cdot 96.500} \cdot t$$

Siendo: mg = miligramos de medicamento introducido, pm = peso molecular, mA = miliamperios (si la intensidad se mide en amperios, los mg deben ir en g), v = valencia del radical medicamentoso, 96.500 = constante de Faraday y t = tiempo en segundos.

A título de ejemplo, en la [tabla 1-1](#) se presentan algunos iones metálicos.

ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

La física reparte las frecuencias de las corrientes (regulares y alternas) de acuerdo con su frecuencia o su longitud de onda de manera simultánea, de suerte que, cuando el valor de la frecuencia aumenta, la longitud de onda decrece por ser inversamente proporcionales una respecto a la otra. La física y la medicina no siempre coinciden en la clasificación del espectro por el simple hecho de que la medicina tiende a fijarse en los efectos que producen sobre los tejidos vivos para clasificarlos.

Además, no debe confundirse el espectro electromagnético con el espectro sonoro (v. piezoelectricidad), pues mientras el primero está formado por energía eléctrica y magnética, el sonoro es energía cinética que provoca ondulaciones y vibraciones mecánicas sobre la materia. Además, la energía electromagnética se propaga por el vacío en tanto que la sonora no.

Es suficientemente conocido que las ondas electromagnéticas se distribuyen en cuatro grandes grupos:

Tabla 1-1. Equivalente electroquímico de algunos metales

Metal	Valencia	Equivalente electroquímico
Aluminio	III	0,3356
Plomo	II	3,8654
Hierro	II	1,0419
Oro	I	7,3490
Oro	III	2,4497
Cobre	II	1,1854
Cinc	II	1,2197
Plata	I	4,0247
Magnesio	II	0,4535

- Bajas frecuencias: muy bajas (< 1), bajas y medias.
- Altas frecuencias: largas, medias, cortas, ultracortas y microondas.
- Espectro luminoso: infrarrojos (tipos A, B y C), luz visible (con sus colores) y ultravioletas (tipos A, B y C, ya son radiaciones ionizantes).
- Radiaciones ionizantes: rayos X y rayos cósmicos (radiaciones alfa, beta y gamma).

Sin embargo, tal vez lo más importante para la fisioterapia sea conocer el origen o los fenómenos que generan las distintas ondas electromagnéticas, según lo cual se tendrán claros muchos de sus efectos, a qué tejidos afectan, cómo generan energías nuevas en los tejidos y su grado de peligrosidad o contraindicaciones posibles.

1

Radiaciones ionizantes y no ionizantes

Todas las ondas que procedan del interior del átomo, de sus desequilibrios energéticos o de su descomposición generarán efectos a idéntico nivel de la estructura atómica que las reciba. Por esta razón se afirma que las ondas o radiaciones ionizantes alteran la estructura elemental de la materia orgánica y pueden causar mutaciones en sus códigos genéticos o moléculas más elementales, ya que al desequilibrar un átomo se desequilibra toda la molécula o parte de ella (Fig. 1-47).

La razón física de este fenómeno se halla en la longitud de onda de las distintas radiaciones. Cuando las longitudes de onda son iguales o menores que los espacios interatómicos de la materia, penetrarán en ella y bombardearán las moléculas o el interior de los átomos, y arrancarán de ellos elementos, sin los cuales se transformarán en otros totalmente distintos, que pueden alterar los códigos genéticos.

A partir de los rayos ultravioletas de tipo B y tipo C, todas las radiaciones tienen poder ionizante o mutante de los elementos químicos por su corta longitud de onda. En la banda de la luz visible,

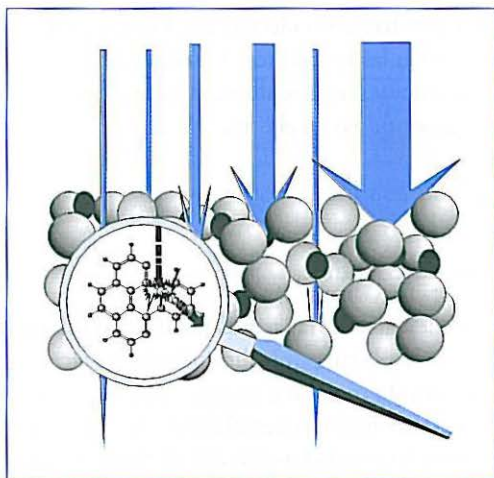


Figura 1-47. Cuando los rayos de las ondas electromagnéticas impactan contra la materia, penetran más o menos según la densidad de ésta, de los huecos interatómicos y de la longitud de onda. Las radiaciones ionizantes son tan pequeñas que pueden penetrar en el interior atómico y alterarlo.

también se aprecian fenómenos químicos, pero favorecen o destruyen moléculas complejas formadas por compuestos elementales debido a la aportación de energía que favorecerá a dichas moléculas.

Las radiografías son posibles por los pocos obstáculos que encuentran los rayos X en los tejidos blandos, por su relativa densidad y la longitud de onda de los rayos, también muy corta. Lógicamente, en el hueso aumentará el porcentaje de rayos interceptados en su camino, que no llegarán a la placa fotográfica.

Las radiaciones procedentes de los núcleos atómicos son las más peligrosas sobre el organismo. Las bandas largas, medias y cortas sólo mueven cargas eléctricas libres del interior de la materia orgánica aunque en realidad faltan por descubrirse todos sus efectos biológicos e influencias beneficiosas o perniciosas.

En las ondas largas y cortas se usan sistemas de aplicación basados en la capacitancia de condensadores o inducción por bobinas, pero, según se aumenta la frecuencia (o se disminuye la longitud de onda), los métodos de aplicación se transforman en antenas direccionales

Tabla 1-2. Espectro electromagnético de alta frecuencia

Generan o proceden de	Espectro	Tipo de radiaciones
Interior nuclear	Rayos cósmicos	Radiaciones ionizantes
Movimientos orbitales de los electrones	Rayos X	
	Ultravioletas	
Excitación molecular	Luz visible	Radiaciones no ionizantes
Vibración molecular	Infrarrojos	
	Microondas	
Rotación molecular	Ultracortas	
Oscilación de cargas eléctricas	Ondas cortas	
	Ondas medias	
	Ondas largas	

POTENCIAL DE CÁLCULO CON LA LEY DE OHM



A modo de curiosidad, en la figura 1-48 pueden apreciarse las posibilidades de cálculo con la ley de Ohm para desarrollar la fórmula.

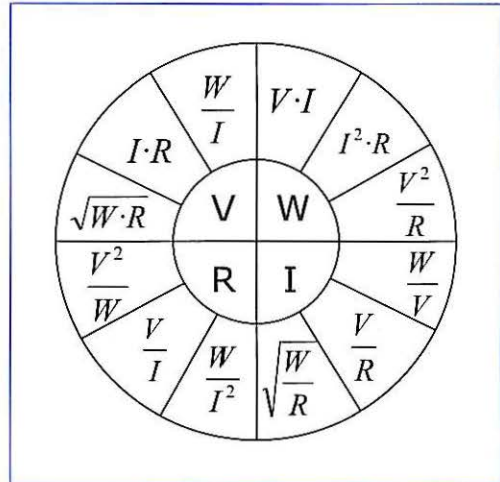


Figura 1-48. Rueda clásica en que se describen todas las posibilidades de cálculos básicos al utilizar la ley de Ohm. I: intensidad; R: resistencia; V: voltaje; W: potencia (vatios).



Autoevaluación

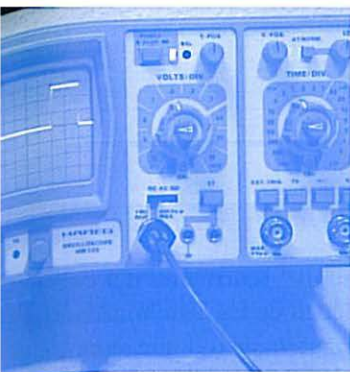
que irradian «chorros» de ondas electromagnéticas sobre la zona tratada.

Con el tiempo se apreciarán o se descubrirán los grandes aciertos o «barbaridades» cometidas con las aplicaciones terapéuticas de alta frecuencia, láser o magnetoterapia (Tabla 1-2).

Material complementario en el sitio web



- Autoevaluación
- Documentos
 - 1-1. Medida de impedancia en un osciloscopio
- Vídeos:
 - 1-1. Medida de voltaje
 - 1-2. Medida de intensidad
 - 1-3. Concepto de potencia
 - 1-4. Absorción de energía
 - 1-5. Concepto de trabajo
 - 1-6. Electromagnetismo 1
 - 1-7. Electromagnetismo 2
 - 1-8. Portadora_4000
 - 1-9. Impedancia
 - 1-10. Medida de impedancia
 - 1-11. Medidor de electrodos
 - 1-12. Cambios de frecuencia
 - 1-13. Movimiento browniano
 - 1-14. pH en cubeta
 - 6-2. Galvano_palpa_VC_CC



2

Corrientes más utilizadas en electroterapia

Contenido

- Corrientes más utilizadas en electroterapia
- Análisis detallado de formas y parámetros de las corrientes
- Medidas de los pulsos y de las ondas en el osciloscopio

Objetivos de aprendizaje

- Comprender todo el complejo de corrientes de electroterapia para clasificarlas de forma comprensible y de acuerdo con sus efectos biológicos en una primera clasificación general.
- Profundizar en sus parámetros y modalidades para entender bien sus efectos biológicos.
- Para alumnos avanzados y profesores, comprender la forma más habitual de observar y visualizar los parámetros de las corrientes en el osciloscopio.

Síntesis conceptual

- ✓ Este capítulo contiene conceptos generales y en él se tratan con detalle las corrientes (sobre todo, las de baja frecuencia y media frecuencia) que se usan en electroterapia. Es importante avanzar sin precipitación en su lectura para comprender, paso a paso, todos los conceptos de forma sucesiva.
- ✓ Dada la complejidad y cantidad de corrientes de uso en electroterapia y su diversidad en cuanto a nomenclatura, en este capítulo se tratará de agrupar las corrientes, clasificarlas según diversos enfoques y simplificarlas en grandes grupos para entrar en ciertos detalles más adelante. No pueden estudiarse todas las que existen (o muchas de ellas) de una en una.
- ✓ Es importante agruparlas porque muchas de ellas son muy semejantes y lo fundamental es saber diferenciar los matices entre ellas, así como las ventajas e inconvenientes que aportan en cada circunstancia.
- ✓ Es muy importante que los alumnos realicen prácticas de observación y de medición de las corrientes en el osciloscopio para comprender mejor y memorizar cada corriente.

CLASIFICACIÓN DE LAS CORRIENTES

Cuando se manejen las distintas corrientes del menú disponible para los fisioterapeutas, fundamentalmente será en forma de electricidad dinámica, salvo algunos efectos propios del galvanismo, que lo harán en forma de electricidad estática.

A causa de la gran diversidad de formas, tiempos, nuevas corrientes, superposición de efectos, etc., surgidos en los últimos tiempos y si se intenta sintetizar, aclarar, clasificar, resumir y desbrozar el tema, las distintas variantes podrían agruparse del siguiente modo:

- Según los efectos sobre el organismo.
- Según los modos de aplicación.
- Según las frecuencias.
- Según las formas de onda.

Clasificación según los efectos sobre el organismo

Los efectos de las corrientes sobre el organismo pueden clasificarse en:

- Efectos electroquímicos.
- Efectos motores sobre el nervio y el músculo.
- Efectos sensitivos sobre el nervio sensitivo.
- Efectos por aporte energético para la mejora del metabolismo.

Clasificación según los modos de aplicación

Los modos de aplicación de las corrientes pueden clasificarse en:

- Pulsos aislados.
- Trenes o ráfagas.
- Aplicación mantenida o frecuencia fija.
- Corrientes con modulaciones.

Clasificación según las frecuencias

En fisioterapia se usan corrientes del espectro electromagnético de las denominadas radiaciones no ionizantes, cuyo límite se encuentra en las radiaciones ultravioletas de tipo B. Por encima de éste punto se consideran radiaciones ionizantes y no se utilizan en fisioterapia. Pueden clasificarse en:

- Baja frecuencia: de 0 a 1.000 Hz.
- Media frecuencia: de 1.000 a 500.000 Hz (utilizadas desde 2.000 hasta 10.000 Hz).
- Alta frecuencia: desde 500.000 Hz hasta el límite con los rayos infrarrojos.
- Banda de la luz desde los rayos infrarrojos hasta los rayos ultravioletas de tipo B y C.

Estos límites o referencias son relativos, pues su clasificación presenta diferentes formas en función del autor. Los límites de baja frecuencia son discutibles y están muy condicionados por las posibilidades de cada equipo, ya que algunos superan con creces los 1.000 Hz y a otros les cuesta alcanzar los 500 Hz. Asignar 0 Hz a la corriente galvánica es un error, ya que su frecuencia realmente se considera infinita.

Sobre la media frecuencia se establece un margen entre 2.000 y 10.000 Hz para la portadora, pero ciertos equipos lo sobrepasan.

En alta frecuencia, y en concreto en la banda de radiofrecuencia, las corrientes utilizadas se presentan en la [tabla 2-1](#).

La expresión «diatermia» suele utilizarse como concepto genérico de termoterapia en profundidad. Los fisioterapeutas hacen referencia a termoterapia de alta frecuencia o termoterapia profunda cuando se alude a cualquiera de las frecuencias antes citadas.

La banda de la luz puede clasificarse en:

- Luz visible con los colores del arco iris.
- Infrarrojos entre las microondas y el rojo visible.
- Ultravioletas entre el violeta y los rayos X.

Tabla 2-1. Corrientes utilizadas en la banda de radiofrecuencia

D'Arsonval	De 0,5 a 1 MHz
Diatermia	Alrededor de 10 MHz
Onda corta	27 MHz
Onda corta	40 MHz
Ultracorta	434 MHz
Microondas	900 MHz
Microondas	2.450 MHz (radarterapia)

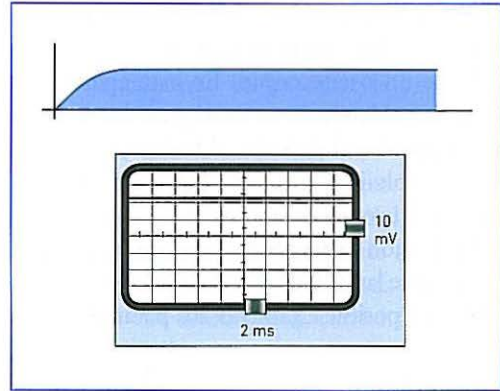


Figura 2-1. Dibujo de corriente galvánica y esquema de osciloscopio con una línea continuada. El ascenso progresivo de la corriente en la figura indica que la intensidad se debe elevar suavemente.

Tanto los infrarrojos como los ultravioletas se dividen, a su vez, en A, B y C. Como queda expresado, los UVA son la parte de la banda más lejana que puede utilizarse.

La banda de la luz origina respuestas metabólicas directas sobre el organismo para generar nuevas sustancias químicas y reactivar procesos metabólicos.

Clasificación según las formas de onda

Dado que las formas de onda son múltiples, se agruparán en siete grandes apartados:

- De flujo constante y polaridad mantenida.
- De flujo interrumpido y polaridad mantenida.
- De flujo constante y polaridad alternada.
- De flujo interrumpido y polaridad alternada.
- Modulación de amplitud.
- Modulación de frecuencia.
- Aplicación simultánea de dos o más corrientes.

Tal vez procedería incluir un subgrupo referente a las modulaciones de anchura de pulso, pero éstas se detallarán más adelante.

Flujo constante y polaridad mantenida. Corriente galvánica o corriente continua

La corriente galvánica o corriente continua (corriente directa es un anglicismo; Fig. 2-1)

consiste en aplicar corriente continua (no debe confundirse con corriente constante [CC]) al organismo mientras se va subiendo de forma lenta la intensidad y se la mantiene sin alteración alguna, al mismo tiempo que no se hace variar la polaridad durante toda la sesión.

Esto implica que los electrones van a entrar en la materia viva por el electrodo negativo o cátodo y saldrán de ella por el polo positivo o ánodo. Por el organismo se desplazan los iones con sus cargas eléctricas hasta los electrodos, de los cuales tomarán su carga o a los cuales la cederán, y así se cierra el circuito.

Esta corriente, que por sí sola forma un grupo, provoca efectos electrolíticos y electroforéticos sobre el organismo. Asimismo, es una de las más importantes corrientes generadoras de aporte energético al metabolismo, ya que gran parte de su energía se transforma en calor en el interior de los tejidos vivos.



Vídeo 2-1. Galvánica

La corriente galvánica se clasifica dentro de la baja frecuencia con frecuencia de 0 Hz, pero el galvanismo no tiene frecuencia ni período; es más adecuado atribuirle la cualidad de frecuencia infinita.

En la **figura 2-1** puede apreciarse la representación de la corriente galvánica en la pantalla de un osciloscopio. En este aparato de medidas eléctricas, se averiguan los valores de frecuencia, el período, el tiempo de impulsos y el voltaje o amplitud (no la intensidad). Si se atribuye un tiempo (en este caso, 2 ms) a cada división de las abscisas y un voltaje a cada división de las ordenadas (10 mV en este ejemplo), será posible establecer sus parámetros.

Flujo interrumpido y polaridad mantenida. Corrientes galvánicas interrumpidas

Cuando se aplica una corriente galvánica de forma que se mantiene la polaridad establecida desde el principio, pero se realizan interrupciones en su intensidad y voltaje, a éstas se las denominará corrientes galvánicas interrumpidas.

Al provocar interrupciones o reposos, van a quedar dibujados los momentos de aplicación que, según la velocidad con que se produzcan dichas variaciones de intensidad, de forma gráfica pueden representarse de distintas formas: se denominarán impulsos o pulsos (**Fig. 2-2**). Este grupo de corrientes es el más clásico de la electroterapia de baja frecuencia.

Más adelante se analizarán los parámetros de los pulsos y de los reposos con detalle.



Vídeo 2-2. Interrumpidas galvánicas

Flujo constante y alternancia de la polaridad. Corrientes alternas

Si se aplica una corriente eléctrica sin interrupciones, con alternancias rítmicas en su polaridad, se obtendrá una serie de corrientes denominadas alternas (**Fig. 2-3**) cuyos parámetros son repetitivos y homogéneos, en frecuencia, forma de onda e iguales tiempos de duración entre las distintas ondas, y no presentan variaciones en la intensidad, etcétera.



Vídeo 2-3. Alternas y bifásicas

El parámetro más importante es la frecuencia, que puede oscilar entre 1 Hz (o menos de 1, pero nunca 0) y miles de millones de oscilaciones por segundo. Dependiendo de las frecuencias que se utilicen, se obtendrán, para los fines terapéuticos determinados, unos efectos u otros.

Flujo interrumpido y alternancia de la polaridad. Corrientes interrumpidas alternas

En el grupo anterior, la polaridad se invertía (igual que ahora) y el «vaivén» o flujo de

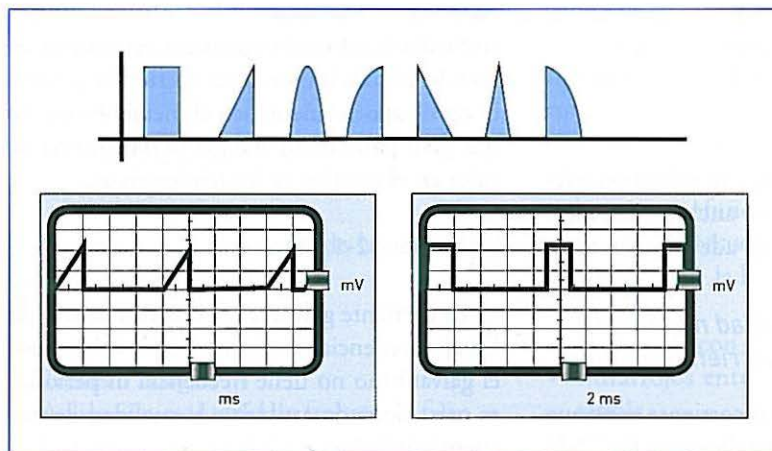


Figura 2-2. Corrientes variables y con polaridad. Las formas son variadas y pueden estar agrupadas en trenes, en pulsos aislados o en aplicación continuada.

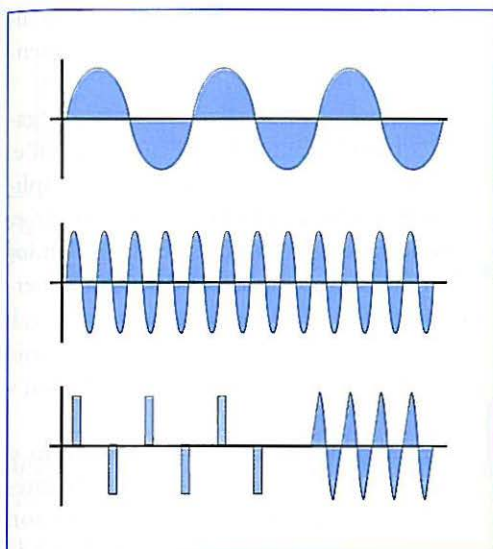


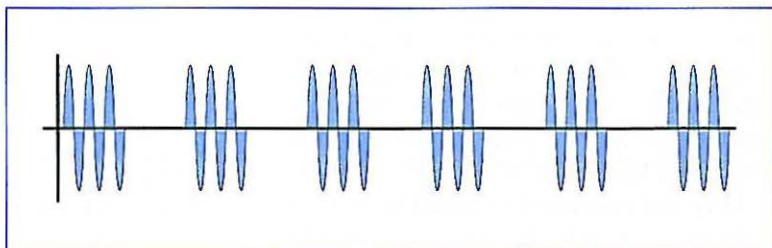
Figura 2-3. La característica fundamental de las corrientes alternas es la pérdida de polaridad. El dibujo superior representa la típica corriente alterna de menor frecuencia que la figura central. El dibujo inferior, al inicio de la abscisa, representa ondas alternas, a las cuales, por lo general, se las denomina bifásicas por ser cuadrangulares.

corriente se mantenía continuo mientras que éstas se interrumpen o generan espacios en la aplicación de la corriente, lo que, como consecuencia, produce modulaciones, paquetes, pulsos o trenes de ondas alternas seguidas de reposos más o menos largos con el fin de conseguir la corriente que se desea (Fig. 2-4). Podría incluirse en este caso las que más adelante se denominarán corrientes moduladas en amplitud.



Vídeo 2-4. Forma de la modulación

Figura 2-4. Corriente alterna con interrupciones. Si estos grupos de ondas duran algunos milisegundos, a las ráfagas formadas, por lo general, se las denomina modulaciones.



Las corrientes que se obtienen así son de relativa y reciente aplicación en la electroterapia y se encuentran en los *burst* de pequeños estimuladores del sistema nervioso sensitivo (técnica de estimulación nerviosa transcutánea o TENS) con fines analgésicos. También se hallan entre ellas distintas modalidades de magnetoterapia, que forman trenes de impulsos cuya frecuencia está en la banda de media frecuencia. Por último, a las corrientes de alta frecuencia o térmicas se las practica interrupciones en su aplicación a fin de que la alta frecuencia no llegue a producir calor, pero, en su lugar, se consiguen efectos distintos a los calóricos (también terapéuticos). Son las ondas medias (tecarterapia), ondas cortas y microondas atérmicas o *diapulse*. Asimismo, se utiliza esta modalidad con los ultrasonidos pulsátiles y el láser pulsado.

*Corrientes moduladas en amplitud.
Corrientes de media frecuencia,
interferenciales, TENS,
magnetoterapia y otras*

Son corrientes (muy habituales en media frecuencia) en que las ondas (positiva y negativa) oscilan de manera simultánea y aumentan y disminuyen la amplitud, a la par y en el mismo instante, tanto por encima de la línea de 0 como por debajo (Fig. 2-5).



Vídeo 2-5 A y B. Modulación en amplitud

Este fenómeno se produce por la mezcla o suma de dos circuitos eléctricos, por la inter-

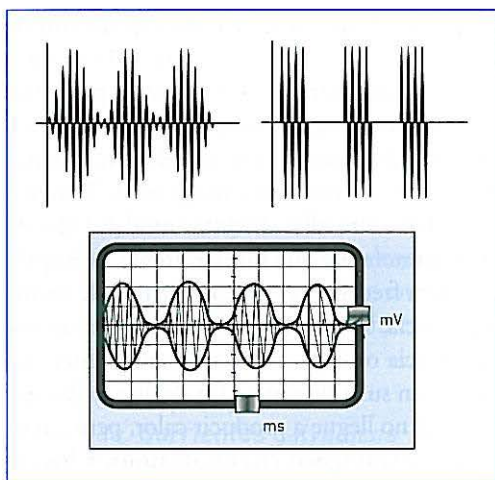


Figura 2-5. Modulaciones (sólo en amplitud AM) de media frecuencia. En la parte inferior de la figura (esquema del osciloscopio) se resalta el contorno de las ondas de media frecuencia, pero en realidad no existe aunque, por lo general, se dibuja.

ferencia de dos ondas alternas de distinta frecuencia o por interrupciones en la media frecuencia. Así pues, la corriente resultante es una nueva modulada en amplitud y su frecuencia es la diferencia entre las frecuencias de las portadoras que se cruzan, pero sin cambios en el valor de la frecuencia modulada. El contorno formado por los picos de las ondas pequeñas (de media frecuencia) compondría las ondas a las cuales se está haciendo referencia.

Corrientes moduladas en frecuencia. Barridos de media frecuencia, corrientes interferenciales y aperiódicas de Adams

Son corrientes en que el aparato se programa de tal manera que generan impulsos en baja frecuencia y modulaciones en media frecuencia a una frecuencia variable entre dos límites. A saber, a título de ejemplo, puede programarse un aparato para generar impulsos que cubran las frecuencias entre 20 y 100 Hz.

El aparato comenzará emitiendo 20 Hz y realizará un barrido durante unos segundos

por todas las frecuencias intermedias hasta alcanzar 100 Hz para volver hacia 20 y comenzar de nuevo (Fig. 2-6).

La aplicación consiste en someter al organismo a barridos entre dos frecuencias con el fin de que, durante algunos instantes, se aplique la frecuencia óptima para conseguir el efecto deseado a la vez que se evita la acomodación (acostumbramiento) del sistema nervioso sensitivo.



Vídeo 2-6. Modulación en frecuencia

Normalmente se consiguen alargando o disminuyendo los tiempos de reposo, manteniendo fijo el tiempo del impulso, pues son características las corrientes aperiódicas de Adams o moduladas en frecuencia.

Vuelve a hacerse referencia en este apartado a las corrientes interferenciales, ya que otro de sus parámetros fundamentales se basa en barridos sucesivos entre dos frecuencias prefija-

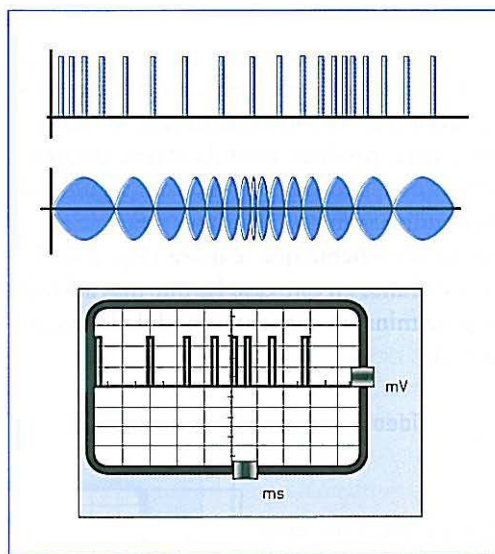


Figura 2-6. Modulaciones en frecuencias (FM). En la parte superior de la figura, FM de baja frecuencia con galvánicas interrumpidas. En el centro, FM típica de las interferenciales de media frecuencia. En la parte inferior, esquema de FM en el osciloscopio.

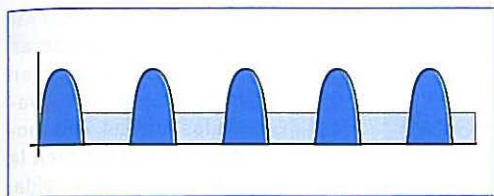


Figura 2-7. Corriente diadinámica con base de galvánica.

das, por lo cual comparten, de manera simultánea, el grupo de las moduladas en amplitud y moduladas en frecuencia (v. cap. 12).

Aplicación simultánea de varias corrientes

En ocasiones se aplica más de una corriente de manera simultánea. Ejemplos de esta modalidad pueden encontrarse en:

- Corrientes diadinámicas con base de galvánica (Fig. 2-7).
- Mezcla aleatoria de formas de pulsos, tiempos de pulsos, frecuencias, etc. (las llamadas corrientes estocásticas).
- Trenes que intercalan frecuencias vibratorias.
- Programas que pasan de forma automática de una modalidad a otra.
- Otras.

Por el momento, hasta que no se inventen o se diseñen otras nuevas, la base serán estas siete variantes o grandes grupos de corrientes. Más adelante se detallarán de forma in-

dividual algunas modalidades que deben destacarse.

ANÁLISIS DETALLADO DE FORMAS Y PARÁMETROS

Impulsos o pulsos

Se deben estudiar muchas formas de los impulsos si se considera que se observa sobrecarga resistiva óhmica pura, porque, si la carga no es óhmica pura, podrán encontrarse formas inesperadas. Sin embargo, frente a sus formas teóricas, se ofrecen unos parámetros que servirán de guía para su análisis (Figs. 2-8 a 2-10, y Tabla 2-2):

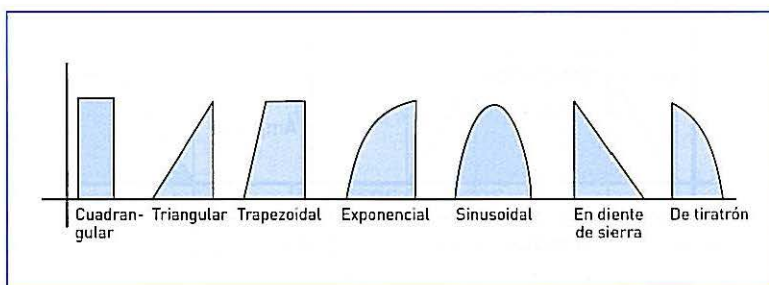
- Forma,
- tiempo de duración del impulso,
- tiempo de reposo entre impulsos,
- período.

La *forma* puede ser cuadrangular, triangular, trapezoidal, sinusoidal, exponencial, en diente de sierra, de tiratrón y puede presentar distintas combinaciones al variar de manera voluntaria cualquiera de los parámetros antes citados (Fig. 2-8).

Las formas en que se dibujan picos o pulsos negativos que acompañan a la onda fundamental se tratarán en detalle más adelante.

La amplitud es la altura máxima del impulso (coincide con el mantenimiento de la onda). Puede ser de subida (rápida o progresiva, y en este último caso, lineal o exponen-

Figura 2-8. Formas de pulsos más frecuentes que se emplean en electroterapia. Pulsos de baja frecuencia sin considerar las posibles formas bifásicas.



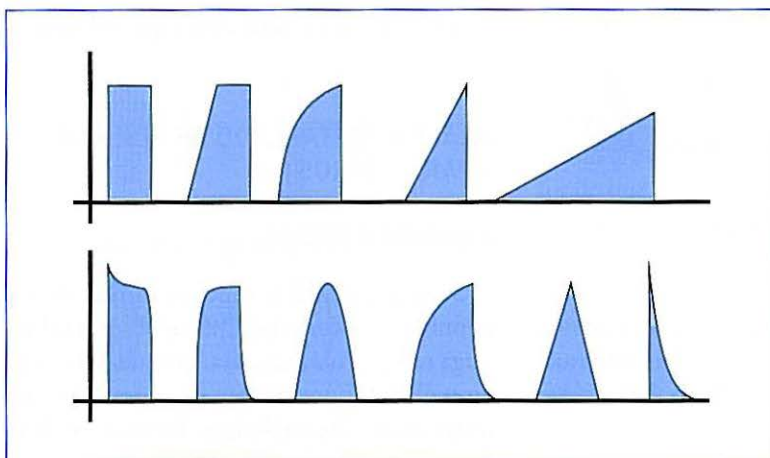


Figura 2-9. Al observar las ondas o pulsos en el osciloscopio pueden hallarse muchas y variadas formas, con modificaciones tanto en la subida como en la caída. Por lo general, se deben a la manera de medirlas y a la impedancia del paciente.

cial [Fig. 2-9]), de mantenimiento (valor de tiempo coincidente con la máxima amplitud del impulso) o de caída (rápida o progresiva, y en este último caso, lineal, exponencial o en parábola invertida).

El *tiempo del impulso* (Fig. 2-10) puede ser: tiempo total (t.P.), tiempo de subida (t.S), tiempo de mantenimiento (t.M) o tiempo de caída (t.C).

A los *reposos* sólo se les atribuirá el parámetro del tiempo que duran.

Respecto al *período*, si se combinan los tiempos de los distintos impulsos con los tiempos de los reposos, de manera que al sumar el tiempo de un impulso más su reposo, se obtenga el período (Fig. 2-10), con

éste se podrá hallar la frecuencia de repetición por segundo.

Debe hacerse hincapié en que los tiempos de pulso pueden ser muy distintos de los tiempos de reposo. De hecho, la mayoría de las corrientes están formadas por impulsos y reposos completamente diferentes. Por ejemplo, los trenes de corrientes farádicas suelen componerse por impulsos de 1 a 2 ms y reposos de 20 ms. También, cuando se aplican impulsos aislados con el fin de explorar un músculo, se llevará a cabo con impulsos de distintos tiempos expresados en ms separados por reposos de 2 a 3 s (Fig. 2-11). Los tiempos de pulso y los de reposo obedecen a razones fisiológicas o fisiopatológicas.

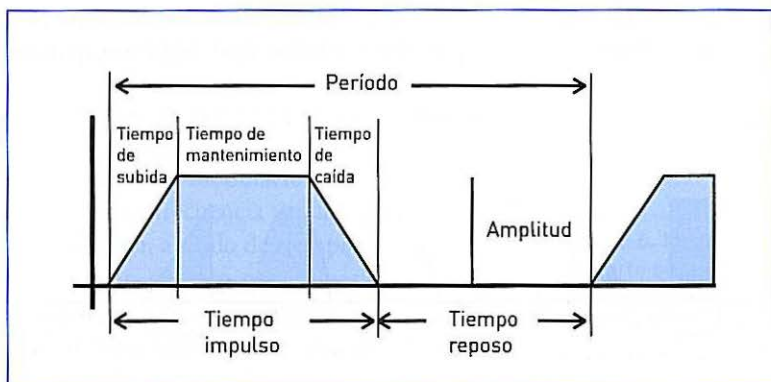


Figura 2-10. Los pulsos (en sus diferentes formas) son medibles en diversos parámetros expuestos en la figura. No debe confundirse subida de impulso o caída de impulso con la rampa de subida y bajada de los trenes.

Tabla 2-2. Parámetros para el análisis de los pulsos o impulsos

A	Forma	Cuadrangular	Para monofásicos, para bifásicos y para modulaciones de corriente alterna	Figura 2-8 Figura 2-9
		Triangular Trapezoidal Sinusoidal Exponencial En diente de sierra En tiratrón Otras		
B	Pulso	Amplitud	Voltaje, intensidad o potencia	Tiempo total (t.P)
		Subida Mantenimiento Caída	Tiempo de subida (t.S) Tiempo de mantenimiento (t.M) Tiempo de caída (t.C)	
C	Reposo	Tiempo (en ms)	Tiempo de reposo (t.R)	Figura 2-10
D	Período	Tiempo (en ms)	Tiempo de período (P + R)	Figura 2-10

Las corrientes formadas por galvánicas interrumpidas por lo general abarcan una banda de frecuencias de 1 a cerca de 1.000 Hz, es decir, baja frecuencia. Se destinarán a estimular el sistema muscular (tanto de fibra lisa como estriada) y el sistema nervioso (tanto el sensitivo como el motor).

Cuando se estimulen los músculos y el nervio motor, se obtendrán respuestas motoras o mecánicas de los músculos. Cuando se lleve a cabo sobre nervio sensitivo, normalmente estará destinada a técnicas de concienciación sensitiva o a producir analgesia (siempre que la intensidad aplicada no supere el umbral motor por encima del sensitivo). Si la proporción entre el tiempo del pulso y el reposo es poca o moderada, estas corrientes aportan un impor-

tante componente galvánico y ofrecen efectos propios de la galvánica.



Práctica 2-1

1. ¿Cuál es la frecuencia de la corriente de Leduc si se sabe que los pulsos son cuadrangulares, monofásicos, de 1 ms y los reposos de 10 ms?
2. Si se pretende diseñar una corriente para vibración muscular de 4 Hz con pulsos de 10 ms, ¿cuál será el reposo?

Formas habituales de aplicación

Hay cinco formas principales de utilizar las corrientes galvánicas interrumpidas o las modulaciones de media frecuencia: pulsos aislados, trenes, aplicación mantenida, barridos de frecuencia y vibración muscular, las cuales se describen a continuación.

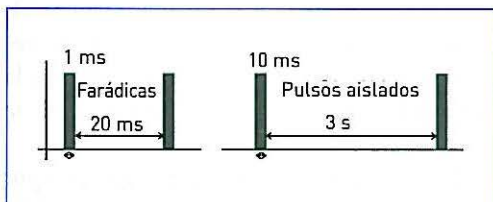


Figura 2-11. Dos ejemplos de tiempos de pulso y de reposo. A la izquierda, valores típicos de una farádica; a la derecha, valores característicos de pulsos aislados.

Impulsos aislados

Se trata de impulsos aislados entre reposos muy largos (electroestimulación motora con

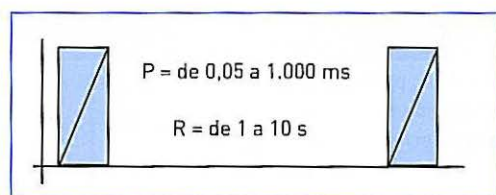


Figura 2-12. Cuando los pulsos (habitualmente, cuadrangulares o triangulares) se aplican de forma que entre pulso y pulso se interpone un reposo mayor a 1 s, se consideran pulsos aislados. P: pulso; R: reposo.

impulsos cuadrangulares o de subida progresiva; Fig. 2-12).

Los pulsos aislados se emplean para exploración, estudios electrofisiológicos, búsqueda de puntos motores y tratamientos de parálisis periférica.

Trenes

Se trata de impulsos agrupados en ráfagas (faradización; Fig. 2-13).

Los trenes se destinan al trabajo muscular de fibra sana o poco afectada por enfermedad. Durante unos segundos trabaja el músculo seguido de descansos de varios segundos (v. cap. 11). En electroterapia se aplican trenes de farádicas, de alto voltaje y de media frecuencia (corriente de Kots). La expresión «faradizar un músculo» indica que se realiza lo explicado.

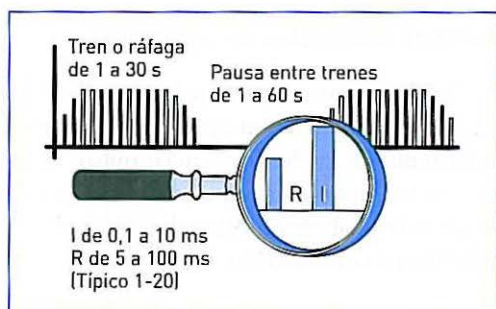


Figura 2-13. Corriente farádica cuadrangular formada por trenes de varios segundos e impulsos dentro de los trenes de varios milisegundos. I: impulso; R: reposo.

Práctica 2-2

1. ¿Qué unidad utilizan los tiempos de los pulsos y de los reposos dentro de los trenes?
2. ¿Qué unidad utilizan los tiempos de los trenes y de las pausas entre trenes?



Práctica experimental

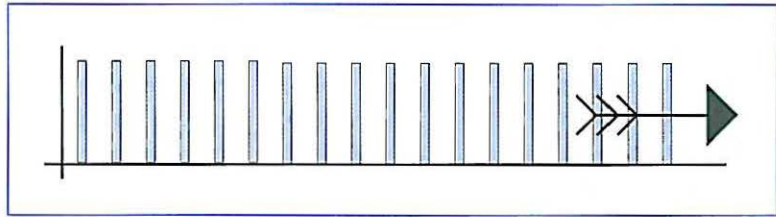
- Tome dos electrodos medianos o pequeños. Fíjelos sobre su propio brazo o pierna en aplicación bipolar sobre una masa muscular. Encienda el equipo, entre en la corriente farádica, ajústela en corriente monofásica [+] proximal y [-] distal.
- Dentro del tren, ajuste el tiempo de pulso a 1 ms, el reposo a 20 ms y la forma de pulso a triangular. Ajuste el tiempo de tren a 8 s y la pausa a 10 s, y la rampa de subida y de bajada a 1 s. Active el sonido, eleve la intensidad durante el tiempo que se escuche el sonido hasta conseguir una respuesta motora sobre los músculos (contracción sin la participación activa de uno mismo).
- Se ha ajustado la corriente farádica estándar (sobre todo, respecto a 1-20) y se ha faradizado un grupo muscular.

Aplicación mantenida

Se trata de impulsos con sensación de repetición (siempre con la misma frecuencia). También suele emplearse la expresión de frecuencia fija (Fig. 2-14). No debe emplearse la nomenclatura de corriente constante, pues se reserva para otro concepto.

Por lo general se utiliza para analgesia por estímulo sensitivo o para provocar cambios electroquímicos por su componente galvánico. Se evitarán las respuestas motoras salvo que su frecuencia oscile entre 1 y 6 Hz.

Figura 2-14. Corriente con su frecuencia y otros parámetros ajustados y aplicados durante toda la sesión.



Barridos de frecuencia

Se trata de impulsos entre reposos que cambian de duración de forma constante y según una cadencia determinada (moduladas en frecuencia [MF] o aperiódicas de Adams cuando los pulsos son cuadrangulares y polarizados; Fig. 2-6).

Vibración muscular

Si se realiza una aplicación mantenida o con frecuencia fija, que esté comprendida entre 1 y 6 Hz, se provocará poco estímulo sensitivo, pero una respuesta motriz vibrante que provoca relajación muscular. Por ello, estas frecuencias se aplican para vibración muscular tanto en frecuencia fija como en barridos de frecuencia (Fig. 2-15).

Las vibraciones conseguidas con media frecuencia son más tolerables y agradables.

Intensidad de pico

En este punto se necesita una aclaración referente a la intensidad y su forma de medición con sistemas analógicos (miliamperímetros de aguja) y con sistemas digitales.

Los equipos de baja frecuencia y media frecuencia (aplicable también al ultrasonido) indican la intensidad de pico o, lo que es lo mismo, la intensidad que se produce en el momento de máxima altura del pulso. Dependiendo del tiempo del pulso y del tiempo de reposo, se obtendría una intensidad eficaz que los equipos de electroterapia no reflejan. Sin embargo, es muy necesaria para evitar quemaduras en los pacientes.

Cuando se aplica corriente galvánica, puede observarse que la aguja sube y se mantiene sin ninguna oscilación. Sin embargo, si medimos una corriente galvánica interrumpida, puede llegar a observarse que la aguja del sistema oscila, ya que durante el reposo mediría 0 y cuando va camino de 0 (antes de llegar) tiene que indicar

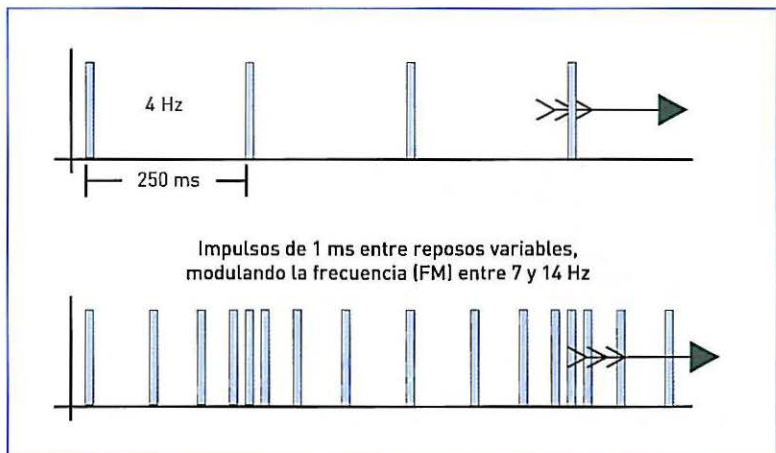


Figura 2-15. Para conseguir frecuencias entre 1 y 6 Hz, el período tiene que oscilar entre 1.000 y 165 ms.

de nuevo la medida del siguiente impulso; con todo, antes de conseguir su objetivo, el impulso ha desaparecido y la aguja vuelve atrás de nuevo, y este proceso se repite durante el tiempo de medición, circunstancia que origina que la aguja se mantenga oscilando en una zona intermedia entre 0 y el punto máximo o de medida real.



Videos 2-7 y 2-8. Intensidad eficaz de la galvánica e Intensidad eficaz

Esto indica que la medida de la intensidad está alterada por varios factores:

- Durante el tiempo del pulso hay paso de energía.
- Durante el tiempo de reposo no hay intensidad.
- La inercia de la aguja (histéresis del medidor) no permite la rapidez suficiente para indicar la intensidad del impulso.
- Cuanto más cortos son los impulsos, aunque vayan aislados, menor será la eficacia de medida.

Con el uso de medidores digitales desaparece este fenómeno y se puede ajustar para que mida la intensidad de pico o la eficaz.



Vídeo 2-9. Intensidad eficaz al 50

Más adelante se hace hincapié en el hecho de que es importantísimo disponer de un sistema

eficaz de medida, ya que se utilizarán determinados impulsos para la exploración y en donde uno de los parámetros fundamentales será la intensidad real aplicada en cada impulso. Se necesitan sistemas capaces de reflejar la intensidad de pico (intensidad en cada pulso).

Corrientes variables con polaridad y sin polaridad

Antes de continuar avanzando, debe aclararse una cuestión interesante: las corrientes consideradas galvánicas interrumpidas que se han descrito consiguen que los electrones se desplacen en un solo sentido, es decir, entran en el conductor orgánico (cuerpo del paciente) por el cátodo y salen del organismo al ánodo a mayor o menor velocidad (dependiendo de la intensidad y de la diferencia de potencial) en flujo interrumpido.

Desde el momento en que se llevan a cabo cambios en la polaridad, los electrones no se desplazarán en un único sentido, sino que durante la onda positiva lo harán en un sentido y durante el tiempo que dure la onda negativa lo harán en el sentido contrario (Fig. 2-16).

Lo expuesto lleva a afirmar que los efectos sobre la materia viva que produce el galvanismo, al alterar los iones y su química, con las corrientes alternas se eliminan y, en consecuencia, las consideraciones sobre la colocación de los electrodos y su polaridad pierden

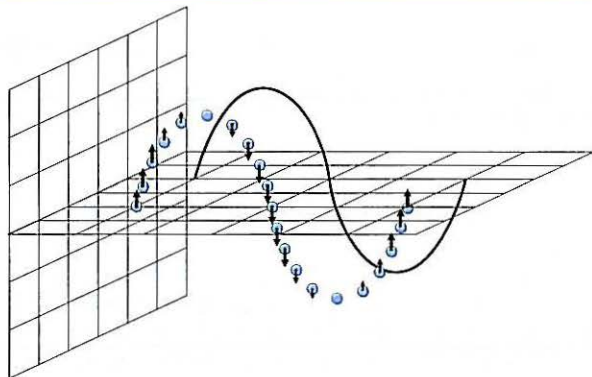


Figura 2-16. Los iones están sometidos a un vaivén sin llegar a concentrarse por electroforesis (v. cap. 1. Electroforesis).

su importancia. En caso de aparecer efectos sobre la electrólisis, lo será como mecanismo secundario, pero no directo e inmediato.

Modulaciones

Se hace referencia a modulación cuando las corrientes están sometidas a cambios en sus parámetros, como altura, anchura de pulsos, frecuencias o varias combinadas.

Se dispone de una corriente alterna de 4.000 Hz, característica de las interferenciales, primero sin modular (Fig. 2-17 A) y después modulada en amplitud (Fig. 2-17 B).



Videos 2-5 A y B y 2-6. Modulación en amplitud y Modulación en frecuencia

Así pues, la modulación consiste en someter a una corriente o portadora a modificaciones

programadas y cadenciales durante unos tiempos determinados. La modulación de la figura 2-17 B es de amplitud porque aparece un continuo aumento y disminución de su altura desde una intensidad 0 hasta el máximo de intensidad. Si la frecuencia de modulación (bastante más baja que la frecuencia de portadora) es un valor fijo, únicamente se produce modulación en amplitud (AM). Si la frecuencia de modulación fuera aumentando y disminuyendo (p. ej., en cadencias de 10 s), no sólo cambiaría la amplitud, sino que también lo haría la frecuencia y en este caso recibiría el nombre de modulación en amplitud y frecuencia (AMF; Fig. 2-18).

Aunque el dibujo típico de las modulaciones de media frecuencia se muestra en la figura 2-18, realmente sería como aparece en la figura 2-17 B.

Formas de las modulaciones en media frecuencia

Las modulaciones típicas de las corrientes interferenciales tetrapolares se muestran en la figura 2-17 B. En la corriente de Kots, las modulaciones pueden ser cuadradas, triangulares o sinusoidales, pero con reposo entre modulación y modulación (Fig. 2-19).



Vídeo 2-4. Forma de modulación

Las corrientes de Kots poseen las modulaciones cuadradas porque consiguen mejor res-

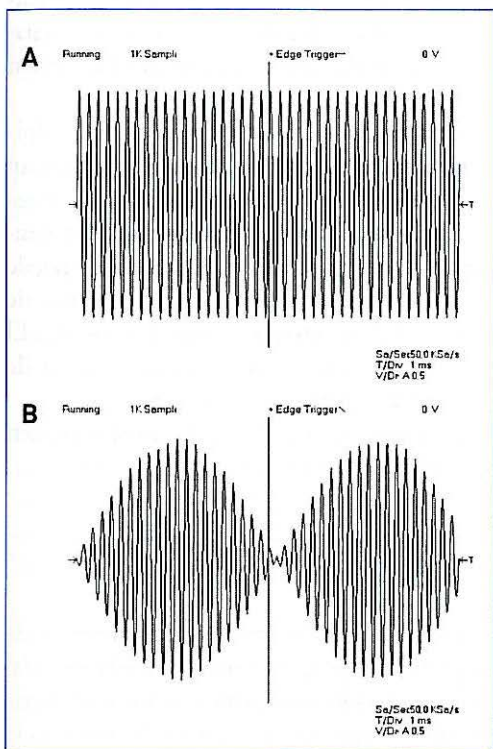


Figura 2-17. A) Se presenta la portadora sin modular con una única frecuencia. B) Se presenta la misma portadora modulada con dos frecuencias, la de portadora y la de modulación.

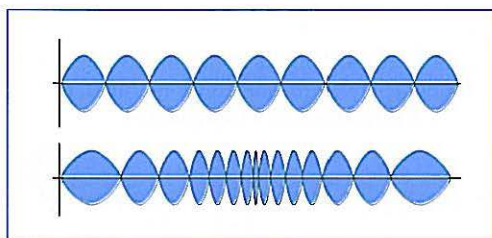


Figura 2-18. La figura superior modula únicamente la amplitud (AM), mientras que la inferior modula la amplitud y la frecuencia de forma simultánea (AMF).

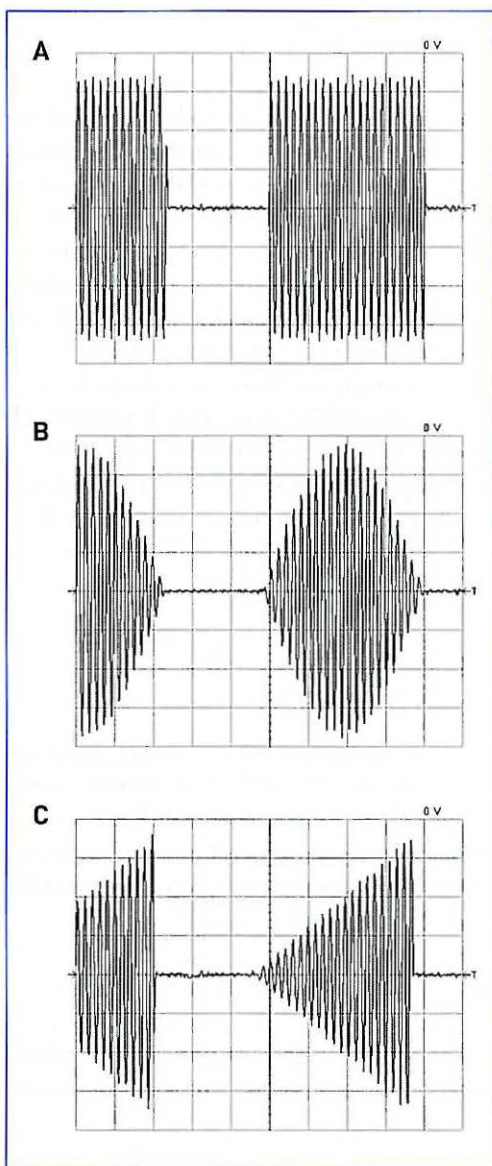


Figura 2-19. A) Modulaciones cuadrangulares. B) Modulaciones sinusoidales separadas por un reposo. C) Modulaciones triangulares.

Práctica 2-3

¿Se puede presentar una modulación cuadrada en las corrientes interferenciales clásicas tetrapolares?

puesta motora y sensitiva, e incluyen un tiempo de reposo entre modulaciones para respetar el período refractario de la membrana celular (v. caps. 10 y 11. «Período refractario»). Las modulaciones sinusoidales sin reposo interpulsos (típicas de las interferenciales) no son las más idóneas para respuestas motoras ni sensitivas.

Modulaciones en baja frecuencia

En baja frecuencia no existe la portadora (salvo los *burst* del TENS), de manera que se puede modular la amplitud, la frecuencia y la anchura de pulso (Fig. 2-20).

Cuando se modula la frecuencia, es necesario indicar los límites menor y mayor de la frecuencia. Cuando es en anchura de pulso, se ajustan el valor menor y el mayor. Cuando se combinan varias modulaciones, lógicamente se ajustará cada modulación por separado. Las modulaciones en los TENS suelen estar programadas.

Otra forma de modular son los *burst* típicos de los TENS (Fig. 2-21) donde se marcan dos frecuencias: la contenida en cada ráfaga o *burst* y la frecuencia de ráfagas. La frecuencia de dentro del tren (F1) o portadora puede estar alrededor de 100 Hz. La frecuencia de ráfagas (F2) es ajustable entre 1 y 10 Hz. El tiempo de duración de la ráfaga suele ser de unos 80 a 100 ms.

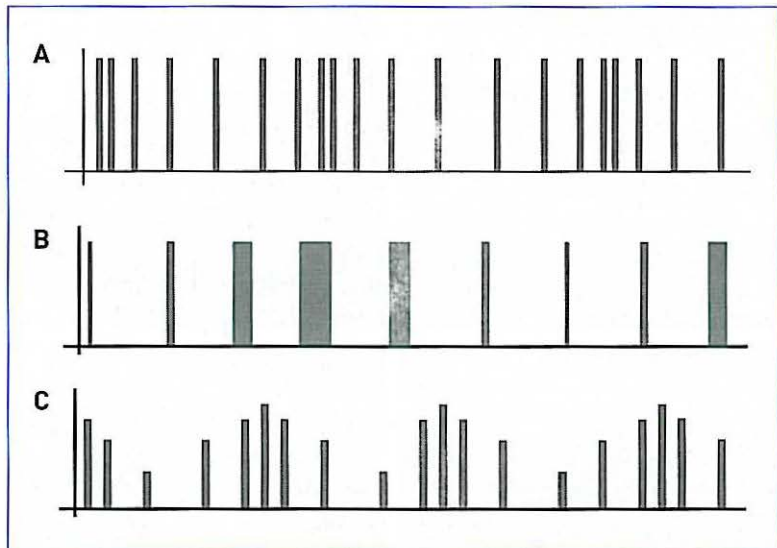
Las modulaciones de baja frecuencia pueden aplicarse a pulsos monofásicos o a bifásicos.

Influencia de la carga en la forma de onda

En un circuito eléctrico recibe el nombre de carga el elemento que soporta la energía aplicada. En este caso será el paciente con sus resistencias (óhmica y capacitiva), es decir, la impedancia (Z). Asimismo, a los equipos de electroterapia se les puede aplicar resistencias artificiales que simulen al paciente con valores concretos y con componentes inductivos o capacitivos.



Figura 2-20. A) Modificaciones en frecuencia. B) Modificaciones en anchura de pulso. C) Modificaciones en amplitud y en frecuencia de manera simultánea.



Documento 2-1. Medida de impedancia en un osciloscopio

Una resistencia artificial (el típico componente electrónico denominado resistencia) posee únicamente resistencia óhmica, pero un paciente ofrece resistencia óhmica con un importante componente capacitivo.

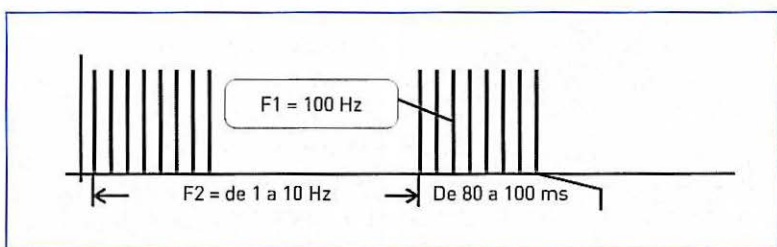
Por ello, las formas de las ondas o pulsos aplicados cambian sus parámetros en cuanto a altura y contornos.

Si se analiza a continuación la figura 2-22 y lo ocurrido en las diferentes pantallas del osciloscopio, puede observarse como en A lo que en teoría es una forma cuadrada se convierte en una onda compleja formada por el pulso cuadrado seguido de ondas alternas decrecientes

hasta su desaparición. Se trata de las denominadas ondas amortiguadas, típicas del trabajo sin carga en muchos equipos (con los electrodos al aire) y en voltaje constante (VC). En B puede observarse una forma prácticamente cuadrada, lo cual indica que 110Ω serían una resistencia muy adecuada para mantener la forma diseñada en su circuito electrónico. En C puede observarse como con 500Ω se inicia la aparición de una onda negativa en forma de pico que se amplía todavía más en D. En D y en C, con 1.000Ω de resistencia se aumenta la altura del pulso, se deforma más el contorno cuadrado y aumenta la denominada bifásica asimétrica.

Puede observarse otro ejemplo de deformación de la onda en la figura 2-23, de forma que en A aparece una forma cuadrada perfecta con resistencia óhmica pura de 500Ω , pero la

Figura 2-21. La aplicación del TENS en la modalidad de ráfagas cortas o *burst* implica que se conjuguen dos frecuencias: (F1) la contenida dentro de la ráfaga y (F2) el número de ráfagas por segundo.



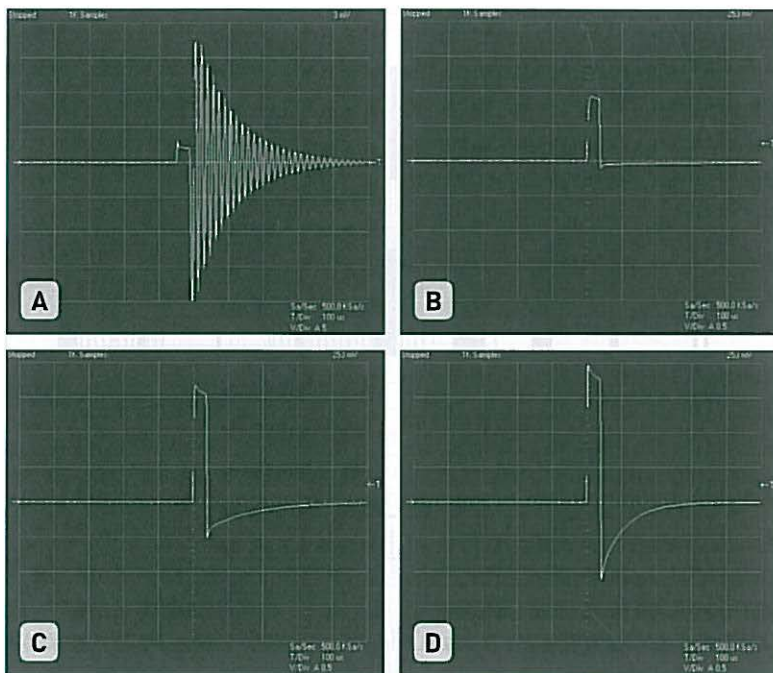


Figura 2-22. Observación en el osciloscopio de una forma de onda con diferentes cargas. A) Aparato en vacío (sin carga). B) Con carga de $110\ \Omega$ de resistencia óhmica pura. C) Con resistencia óhmica pura de $500\ \Omega$. D) Con resistencia óhmica pura de $1.000\ \Omega$.

misma onda o los pulsos aplicados sobre un paciente se transforman en la imagen de B.

Según esto, ¿importa mucho la forma de la onda?, ¿son reales muchas formas de onda a las que se hace referencia?, ¿cómo se han medido y analizado?

Una cosa es la onda generada y otra la onda o pulso sometido a la impedancia de la carga.

Es importante que los profesores de electroterapia enseñen a los alumnos a medir y a observar las diferentes formas de pulsos, así como los factores que influyen en ellos, todo

ello si se dispone de un osciloscopio asequible y de fácil manejo con la ayuda de un ordenador (Fig. 2-24).



Vídeo 2-10. Medidor de electrodos

Por estas y otras razones, es importante que los electrodos no contribuyan a deformar y alterar las formas de los pulsos. Deben controlarse la calidad y la resistencia óptima de los electrodos, así como las gamuzas adecuadamente empapadas para facilitar la conductivi-

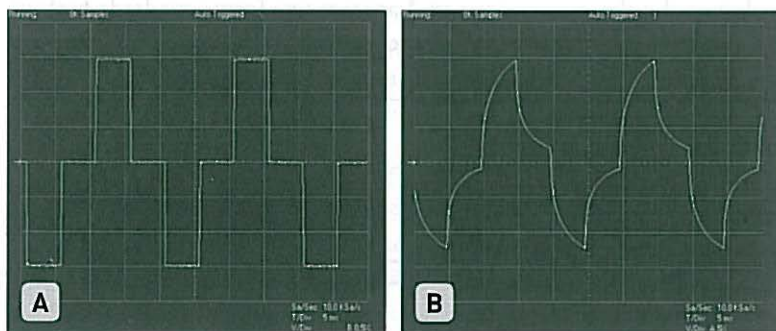


Figura 2-23. A) Los pulsos son cuadrados perfectos porque la carga es óhmica pura. B) Los mismos pulsos se deforman por el componente capacitativo que presentan los tejidos vivos.

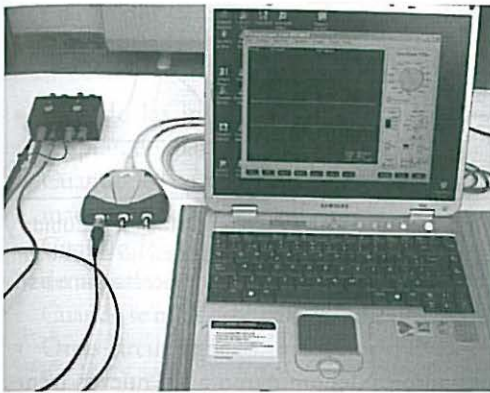


Figura 2-24. Se observan, de izquierda a derecha, una caja que contiene resistencias de 500 Ω , conectores de entrada y de salida e interruptores para desviar la corriente a las resistencias o al paciente. Inmediatamente a su derecha se aprecia el equipo informático del osciloscopio propiamente dicho con dos canales y una salida generadora de ondas. Por último se observa el ordenador con el programa que representa las ondas.

dad. Una buena práctica requiere un continuo control de los electrodos con los materiales diseñados para tal función (Fig. 2-25).

No obstante, si el equipo detecta mala conducción en el circuito o excesiva resistencia, salta la alarma de fallo en los electrodos (siempre que el equipo trabaje en CC, pero no en VC).

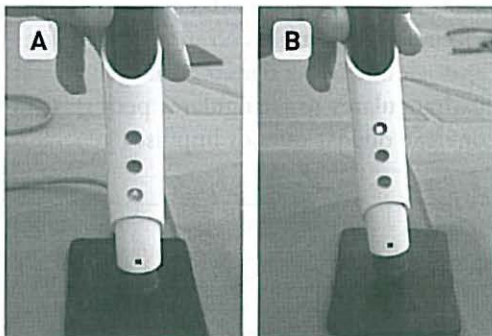


Figura 2-25. Probador y/o medidor de electrodos. A) Se ilumina el piloto verde para indicar el buen estado del electrodo en prueba. B) Se ilumina el piloto rojo que indica alarma por el mal estado en la conducción eléctrica del electrodo en prueba.

Otras corrientes: corrientes bifásicas de alto voltaje

Se tendrá especial cuidado con no confundir la expresión bifásica con la modalidad de diadinámicas denominada difásica fija (DF).

Los modernos equipos portátiles y de baterías recargables, con el fin de conseguir ondas con un fuerte efecto motor o sensitivo además de poco consumo energético, acuden al recurso técnico de aplicar una doble onda consecutiva una tras otra (hacia positivo y hacia negativo).

El sobrenombre de alto voltaje indica que están formadas por pulsos muy cortos y requieren mayor altura o voltaje para conseguir el mismo efecto que los más anchos de ± 1 ms.

Además, las casas fabricantes las ofrecen como «corrientes sin efecto galvánico para evitar la quemadura». Se usan distintas combinaciones de onda. Las más frecuentes se muestran en la figura 2-26.



Vídeo 2-11. Bifásica asimétrica

Las formas descritas se consiguen o se modulan en distintas frecuencias, en barridos de frecuencia, en trenes, etc. Este grupo también podría clasificarse dentro de las alternas o alternas interrumpidas. Las bifásicas desfasadas normalmente provocan mayor estímulo sensitivo y motor que las consecutivas.

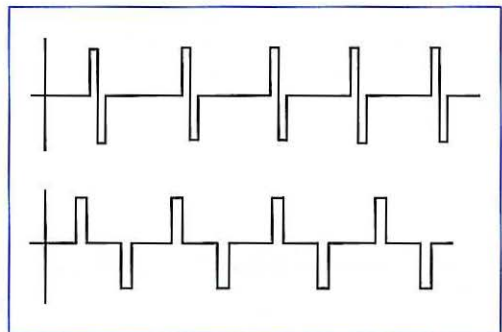


Figura 2-26. En la parte superior se representan las ondas bifásicas consecutivas y, en la inferior, las ondas bifásicas desfasadas.

En la bibliografía se explican más formas, pero muchas de ellas no son reales debido a las deformaciones de la impedancia corporal; en concreto, las bifásicas asimétricas en muchas ocasiones no son tales porque dependen de la carga sobre la cual trabajan (como se ha descrito con anterioridad) y de la impedancia de salida para la cual está diseñado el estimulador.

Las corrientes bifásicas de alto voltaje (con pulsos que no superan los 0,5 ms o los 500 μ s) se consideran corrientes de neuroestimulación.

Viejas formas de onda

2

La tecnología de los circuitos electrónicos en los viejos equipos de baja frecuencia no permite la consecución de muchas de las ondas y corrientes que en la actualidad se usan.

Se sabe que las ondas más adecuadas para obtener respuestas óptimas de sensibilidad y motricidad son las de subida rápida y, en unas ocasiones, monofásicas y, en otras, bifásicas. Sin embargo, «aquellos rancios aparatos de lámparas de vacío» no lo conseguían y, en su lugar, ofrecían la vieja corriente de Faraday, que consistía en unos picos triangulares con cierto componente en la fase negativa que se agrupaban en trenes o secuencias (Fig. 2-27).

Cuando la técnica permitió disponer de impulsos cuadrangulares cortos y perfectos, éstos fueron sustituyendo a los triangulares de las corrientes farádicas originarias y por ello algu-

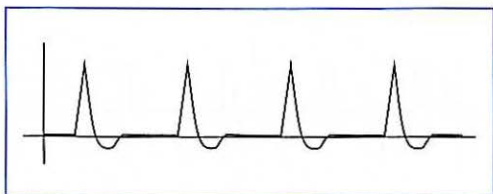


Figura 2-27. Pulsos triangulares de la antigua corriente farádica. En la actualidad se aplican triangulares o cuadrangulares sin la onda negativa.

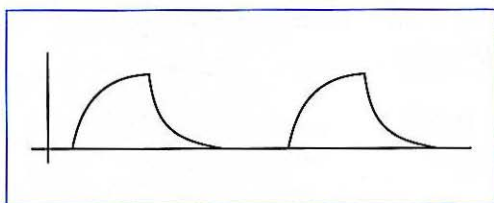


Figura 2-28. Pulsos exponenciales en la subida y en la bajada. En la actualidad, casi no se utilizan, salvo alguna aplicación muy concreta para estimular la fibra muscular lisa.

nos autores denominaron a los nuevos trenes de impulsos cuadrangulares corrientes neofarádicas u homofarádicas.

Tal vez sea más prudente no contribuir a la confusión y a falsos misterios de nuevos «inventos» y, aunque sólo sea «por apoyarse en la fisiología», se continuarán denominando farádicas, como siempre.

Los viejos y «duros» equipos también ofrecían corrientes que tienden a desaparecer, formadas por impulsos de subida exponencial, que trataban de emular impulsos de subida progresiva lineal (triangulares; Fig. 2-28).

Para este fin, se descargaban condensadores previamente cargados, pero las ondas de carga y descarga de éstos no eran lineales, circunstancia corregida en la actualidad con los modernos equipos (Fig. 2-29).

Además, con cierta frecuencia hay estimuladores que generan ondas poco perfectas, pero tratan de cumplir con su cometido de estimulación sensitiva o motora aunque no sean cuadrangulares ni triangulares perfectas (no conviene olvidar que los impulsos generados

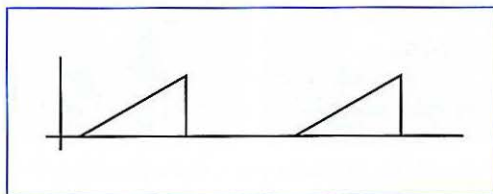


Figura 2-29. Pulsos triangulares para explorar el fenómeno de acomodación y para el tratamiento de parálisis periféricas.

por el propio sistema nervioso tampoco son cuadrangulares):

- Cuando las impedancias de salida no se adaptan de manera adecuada.
- Cuando los aparatos disponen de transformadores con bobina en la salida.
- Cuando los circuitos electrónicos no son demasiado depurados.
- Cuando se mide la señal en condiciones falsas.
- Otras circunstancias.

Pueden obtenerse multitud de formas que se alejan de las más clásicas y teóricamente prefijadas. Algunas se presentan en la [figura 2-30](#) (v. también «Influencia de la carga en la forma de onda»).

Nota aclaratoria acerca de las formas de onda



Cuando se practican técnicas de electroterapia en baja frecuencia y media frecuencia, se suele utilizar la intensidad (mA) como parámetro indicador de la energía aplicada, pero, al dibujar las ondas, se parte de lo reflejado en las pantallas de los osciloscopios, donde en realidad se representan las ondas del voltaje (V), las cuales pueden ser muy distintas en forma y coincidencia en el tiempo respecto a las de intensidad, pues debido a la impedancia se puede retrasar o adelantar una (de intensidad) con relación a la otra (de voltaje), o viceversa.

Debe recordarse que el parámetro que en realidad genera un trabajo es la potencia en vatios (W) y que es el producto del voltaje por la intensidad.

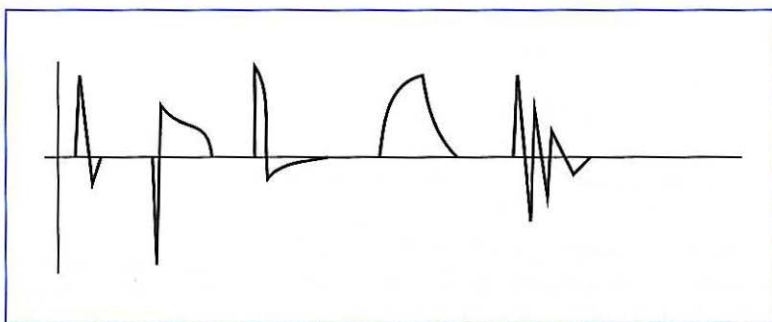
Pueden estar aplicándose impulsos cuya forma sea de gran amplitud en voltaje, pero la intensidad (por razones de diseño electrónico o de altos valores de impedancias) puede ser muy poca, con lo que los resultados a la hora de generar un trabajo serán mínimos. También puede haber situaciones donde la intensidad es alta y el voltaje bajo, circunstancia en que tampoco se generará el trabajo deseado.

Por lo general, el voltaje suele estar en proporción directa con la intensidad a no ser que las situaciones del circuito alteren el adecuado sincronismo entre ambos parámetros.

Ambas ondas pueden reflejarse en los osciloscopios de manera simultánea y apreciar que siempre existen desfases y formas distintas entre las dos, con lo cual la resultante en potencia siempre estará afectada, de forma que si la potencia refleja otra onda producto de las dos primeras, más amplia en altura y anchura, pueden garantizarse buenos resultados, pero si la onda de potencia es poco amplia en anchura o en altura (o ambas proporciones a la vez) puede asegurarse que los resultados serán pobres ([Fig. 2-31](#)).

En un circuito de intensidad constante (CC) puede presentarse la circunstancia de que, si los electrodos se hallan en cortocircuito por un puenteo metálico, el miliamperímetro indique el paso de intensidad que se

Figura 2-30. Diversas formas de pulsos que, en realidad, suelen proceder de deformaciones de otros (por lo general, cuadrados) modificados por la impedancia de los tejidos o por trabajar al vacío, como en la quinta y última forma.



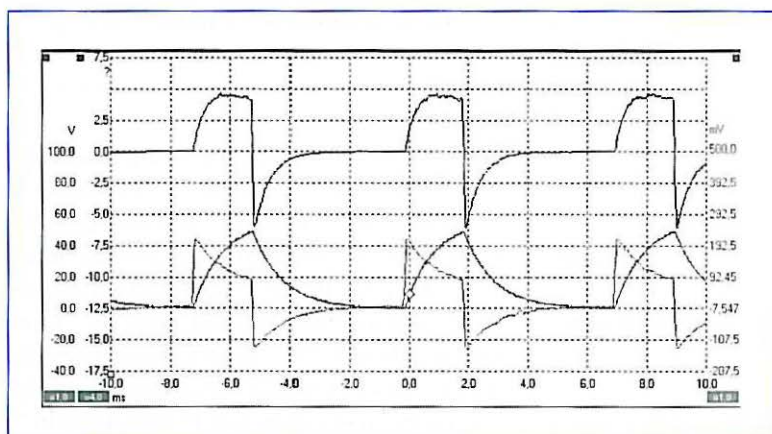


Figura 2-31. Las ondas superpuestas e inferiores son las de intensidad y de voltaje. La onda de trazado superior es la de potencia (W) y representa el producto de V por I.

ajustó, pero el voltaje bajó prácticamente a 0, por lo que la onda de potencia será casi nula. Al practicar el referido puenteo metálico, si el estimulador se ha diseñado como circuito de intensidad constante, el voltaje bajará a 0 y no existirá riesgo de avería, pero si el diseño electrónico se realizó en tensión constante (VC), el puente de cortocircuito puede provocar serias averías.

Cuando se lleve a cabo una investigación o se intenten comprender determinados fenómenos referentes a impulsos cortos o largos, poca o mucha intensidad, nunca deben olvidarse estas circunstancias y siempre hay que pensar en la potencia aplicada para mayor precisión.

SISTEMAS ELECTRÓNICOS PARA ELECTROESTIMULADORES DE BAJA Y MEDIA FRECUENCIA



Los modernos equipos para electroestimulación deben basarse en la electrónica computarizada, donde los microprocesadores consiguen controlar con gran precisión multitud de parámetros de forma rápida y eficaz. Además, se eliminarán los sistemas de amplificación de energía con transformadores, pues éstos deforman las ondas (salvo que sean alternas sinusoidales).

Desde los equipos basados en lámpara de incandescencia, pasando por los transistorizados, hasta la última generación de equipos

computarizados, la evolución y los cambios en las formas de corrientes han sido importantes. En los primeros sistemas era muy complejo y caro conseguir formas de ondas perfectas (sobre todo, en tiempos de pulsos cortos), cuestión bien resuelta en la actualidad.

En los viejos equipos de lámparas o transistores era muy difícil eliminar las ondas negativas que seguían a la positiva y fundamental; dicha onda negativa estaba causada por la autoinducción en el transformador de salida, así como en la deformación de la onda fundamental con pico en la subida y bajada amortiguada por el mismo transformador de salida (Fig. 2-32). Estos equipos se basan en la descarga de un condensador (muy habitual en los TENS y faradizadores musculares).

Un buen sistema debe basarse en un generador suficientemente potente en la salida (sin

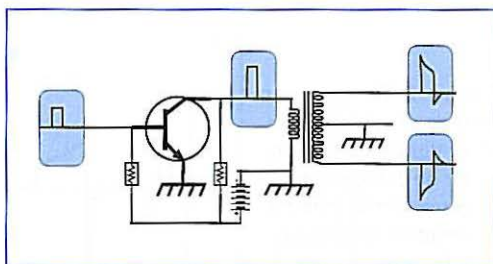


Figura 2-32. Cuando los circuitos amplifican las ondas mediante transformadores, las formas se alteran considerablemente.

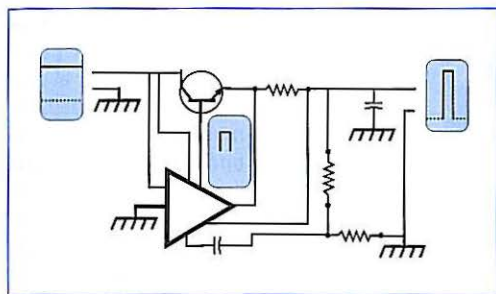


Figura 2-33. Cuando se utilizan sistemas digitales, las formas de los pulsos son precisas y depuradas.

transformadores) para que suministre sin problemas unos 180 V y 80 mA sobre una carga de 500 Ω (Fig. 2-33).

Los equipos de baja frecuencia y media frecuencia basan su sistema de trabajo en disponer de un generador de corriente galvánica en estado de corte por el transistor, el cual sólo permite el paso durante el instante que lo activa el sistema del microprocesador y así se crea el pulso correspondiente. Esto es posible con una fase [+] o con ambas (+/-) para los pulsos bifásicos. El sistema podrá trabajar tanto en corriente constante (CC) como en tensión constante (VC).

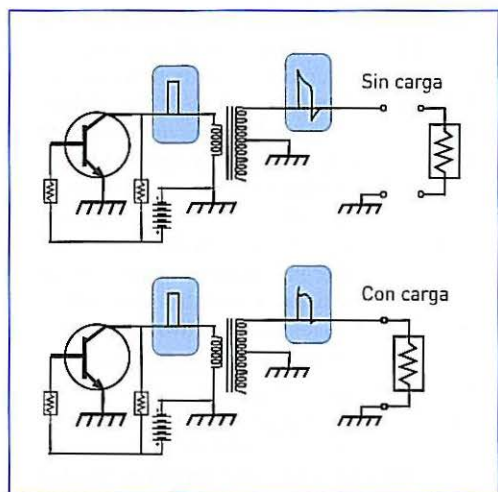


Figura 2-34. El mismo circuito, con carga o sin carga, genera pulsos diferentes.

El microprocesador controlará las formas y los tiempos de ondas monofásicas o bifásicas, así como los tiempos de reposo, modulaciones, agrupaciones en trenes, etcétera.

No debe olvidarse que las formas de ondas con frecuencia son diferentes si los equipos trabajan en vacío que cuando lo hacen con carga (Fig. 2-34), es decir, es distinto representar las ondas si no se ha aplicado el estimulador al paciente que cuando se le ha aplicado. Si la corriente procede de equipos con transformadores, los picos añadidos por autoinducción tienden a eliminarse, pero en aquellos en que se interrumpe una corriente galvánica no debe deformarse salvo cuando se pretenden superar las características de diseño y se le exige más potencia de la posible.

Las formas de onda más lógicas y fundamentales para conseguir la despolarización de la membrana nerviosa y muscular serán (Fig. 2-35):

- De subida progresiva y bajada brusca.
- Ondas triangulares.
- Ondas cuadrangulares.
- Cualquiera de ellas bifásicas (pero las bifásicas de subida progresiva desfasadas).

Las más eficaces serán las cuadrangulares, seguidas de las triangulares y de las de subida progresiva. Todas las demás formas son añadidos que pueden servir si no se dispone de otras mejores.

Las formas de onda de subida progresiva son necesarias para los tratamientos en que

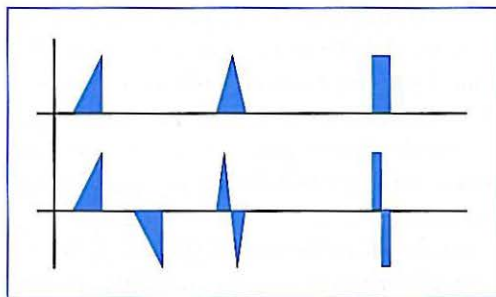


Figura 2-35. En la parte superior se presentan los pulsos monofásicos más usados y, en la parte inferior, los pulsos bifásicos más frecuentes.

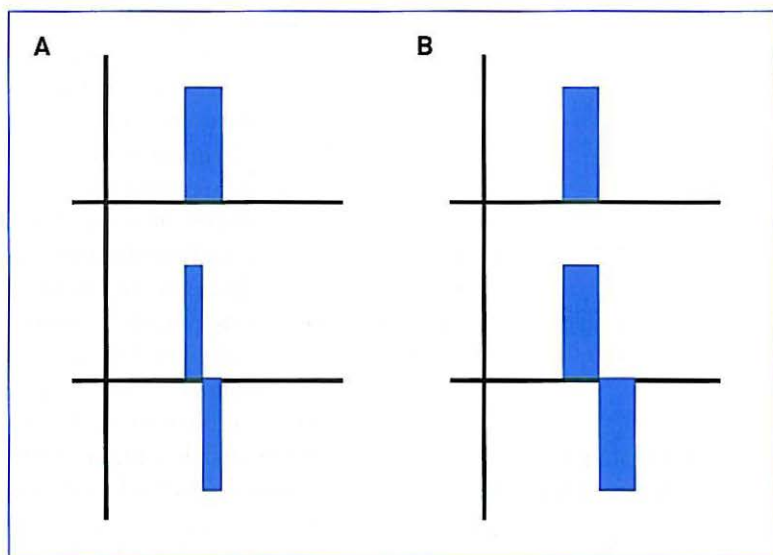


Figura 2-36. A) Las áreas ocupadas por el pulso monofásico y por el pulso bifásico son las mismas. B) El área del pulso bifásico es el doble que la del pulso monofásico. El paciente sentirá mucho más intenso el pulso bifásico de B.

2

se altera el mecanismo de acomodación de la membrana. Las triangulares son muy fáciles de conseguir, a nivel electrónico, y se toleran mejor que las cuadrangulares. Las cuadrangulares aportan la mayor energía y despolarizan mejor la membrana. En cuanto a las bifásicas, los fabricantes deben coordinarse para homogeneizar los sistemas de tratamiento, pues es diferente la bifásica de la figura 2-36 A que la de la figura 2-36 B.

La opción A es la más lógica, pues la energía aplicada es la misma. Sin embargo, disminuye el efecto despolarizador. Otros fabricantes (sobre todo, con pulsos menores a 1 ms) aplican la opción B y consiguen un aumento de la respuesta de despolarización, pero aunque se administre el doble de energía, es más soportable para el paciente (a nivel sensitivo).

Los fabricantes también deben homogeneizar sus diseños en cuanto a las bifásicas consecutivas (A) y a las bifásicas desfasadas (B) de la figura 2-37.

Las bifásicas desfasadas (Fig. 2-37 B) son muy interesantes cuando se emplean como pulsos aislados para el tratamiento de las parálisis periféricas o denervaciones. Su interés radica en la doble onda positiva y negativa que

Práctica experimental



De acuerdo con la figura 2-37, en la opción A ambos pulsos se comportan como uno único. En la opción B, cada uno consigue su propio trabajo y, frente a dicho trabajo motor, uno provoca mayor nivel de respuesta que el otro de manera alternativa. Para observarlo en la práctica, debería llevarse a cabo el siguiente experimento:

Se aplican dos electrodos iguales, en cuanto a tamaño, de forma homolateral, sobre un músculo o grupo muscular de los brazos o de las piernas (en el mismo lugar de ambos lados). Se seleccionan en el equipo pulsos bifásicos desfasados (B) de 2 ms y reposos de 300 ms. Se eleva de forma lenta la intensidad hasta obtener una respuesta motora apreciable y vibratoria. Si se observa bien, se apreciará que, de manera alternativa entre pares e impares, un lado responde mejor que el otro de forma alternativa, pero, si se cambia a bifásicos consecutivos (A), todos los pulsos alcanzan la misma contracción en ambos lados.

Si hubiera diferencias entre ambos lados, se debería al peor entrenamiento de un lado sobre el otro, falta de coincidencia de puntos motores, diferente tamaño y/o humedad de los electrodos.

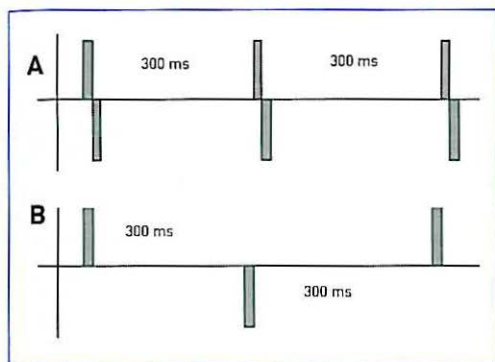


Figura 2-37. Dos formas diferentes de producir vibración muscular. A) Con bifásica consecutiva. B) Con bifásica desfasada.

evita el efecto de polaridad galvánica y la posible quemadura en el paciente.

Influencia de la forma de onda en la respuesta motora y sensitiva

Para conseguir las mejores respuestas motoras y sensitivas mediante la aplicación de corrientes pulsadas, es importante elegir la forma de onda, pues con parámetros iguales en tiempo de pulso y frecuencia, los pulsos triangulares requieren mayor intensidad que los cuadrangulares (v. cap. 10). Los cuadrangulares bifásicos (Fig. 2-38) dependen de que el fabricante logre que la suma del $+$ y del $-$ sea igual que el monofásico o que añada otro pulso $-$ al $+$, sumando el tiempo de ambos. En este segundo caso será mucho más eficaz.

Microcorrientes

Son corrientes que se caracterizan porque:

- La intensidad de pico máxima alcanzada es de 1 mA o 1.000 μ A (característica que les proporciona su nombre).
- Están formadas por pulsos de muy corta duración (menos de 500 μ s).
- La frecuencia oscila entre 1 y 300 Hz (según el fabricante, pero nunca pasa de 1.000 Hz).

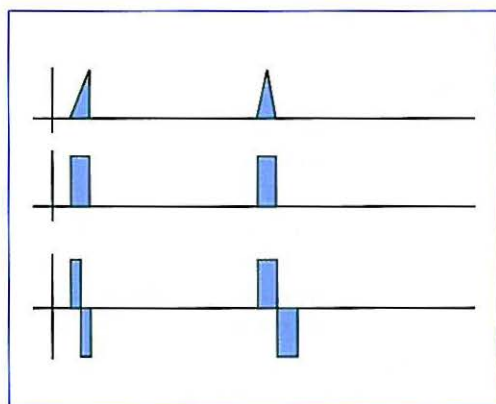


Figura 2-38. En la parte superior pueden apreciarse corrientes monofásicas triangulares; en el centro, monofásicas cuadrangulares y, en la parte inferior, bifásicas al dividir el pulso en dos y sumar un pulso igual al ya existente.

- Se aplican como:
 - Pulsos monofásicos.
 - Pulsos bifásicos (desfasados o consecutivos).
 - En *burst*.
 - En modulaciones de frecuencia.
 - En frecuencia fija.

La corriente galvánica también se aplica como microcorriente de forma que su intensidad máxima nunca sobrepasa 1 o 1,2 mA por todo el electrodo (Fig. 2-39).

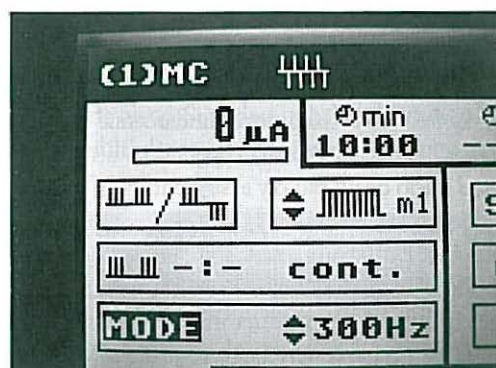


Figura 2-39. Pantalla de un equipo con microcorrientes, donde se aprecia que la intensidad se mide en microamperios.

Son corrientes que no provocan estímulo sensitivo ni motor directo sobre el paciente. Si se aplican sobre zonas con terminaciones nerviosas hipersensibles, después de algunos minutos generan picor muy localizado y superficial (debido al efecto de galvanopalpación).

Con cierta frecuencia se las denomina corrientes «de estimulación sensitiva y muscular» de muy baja intensidad, pero nunca llegan a producir respuesta sensitiva directa y mucho menos muscular.

Estas corrientes se aplican para regeneración tisular, regeneración del colágeno y estímulo de la actividad biológica.

MEDIDA DE LOS PULSOS Y ONDAS EN EL OSCILOSCOPIO



2

El osciloscopio representa (Figs. 2-24 y 2-40) las formas de las ondas (información más relevante), su altura (voltaje) y su anchura (tiempo de duración).

Si se parte de estas premisas, en la pantalla dividida en cuadrículas, a las cuales se les atribuye un valor (vertical en voltios y horizontal en tiempo), se dibujan las ondas que deben medirse y se les proporciona unos parámetros según el número de cuadrículas ocupadas, con lo cual pueden establecerse valores con precisión.

Básicamente mide los dos parámetros descritos con anterioridad de forma directa. De manera indirecta también se pueden medir intensidades (con sondas de amperaje), resistencia (en ohmios), frecuencias, impedancias, etcétera.

La frecuencia (parámetro fundamental en fisioterapia) se calcula a partir del período o tiempo entre el inicio de un pulso y el siguiente (Fig. 2-41; v. «Frecuencia», en el cap. 1). Los osciloscopios modernos están acompañados por información en modo texto que indican la frecuencia o/y el período.

Las máquinas productoras de ondas suelen generar una frecuencia fundamental y otras que son múltiplos o armónicos de la fundamental. El espectrómetro o espectrógrafo indica este comportamiento (Fig. 2-42 A y B).

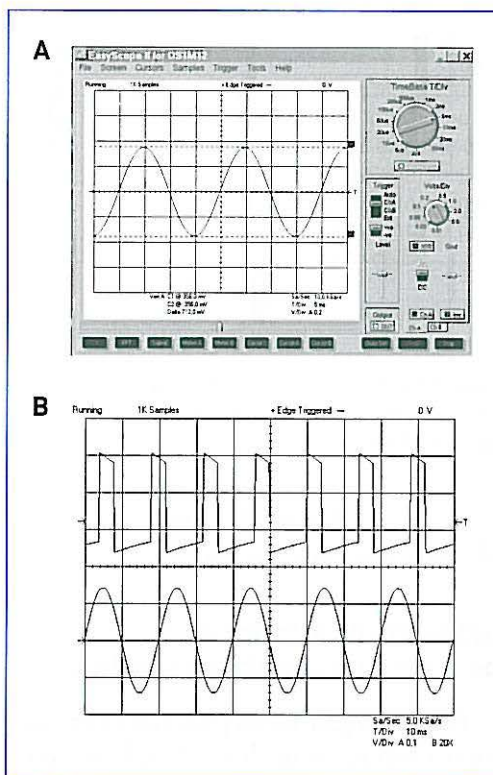


Figura 2-40. A) En esta imagen se aprecia el programa de un osciloscopio para ordenador personal. B) La pantalla de los dos canales mide de manera simultánea: uno con ondas tendentes a cuadradas y el otro con ondas sinusoidales.

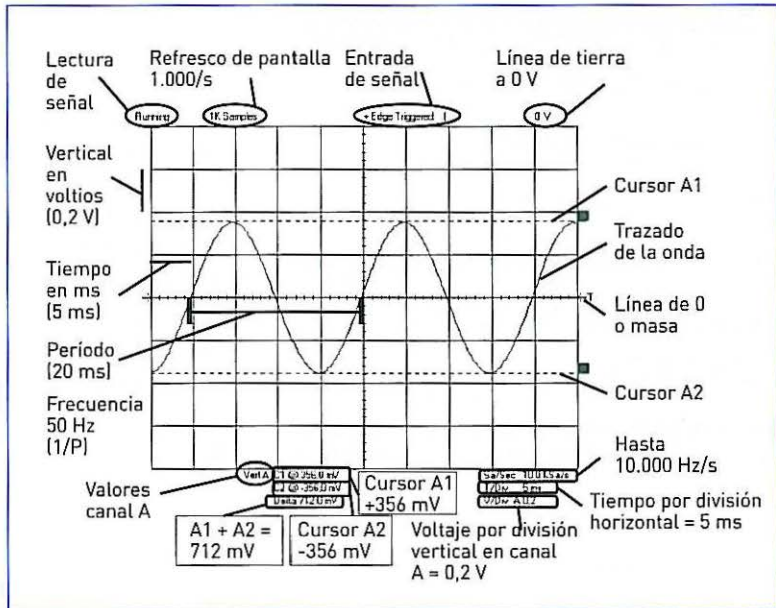
Valor RMS

En cuanto a la información de la ordenada (vertical), los modernos osciloscopios aportan sobre la pantalla (también en modo de texto) los valores en voltaje, pero de diferentes formas: voltaje pico-pico, voltaje máximo o pico, voltaje eficaz o RMS (del inglés *root mean square*) y voltaje medio.

Estos valores son importantes porque después serán útiles para calcular intensidades, potencias y trabajos eficaces, medios, de pico, etc. (v. «Resistencia» sobre corrientes con componente galvánico y «Potencia eficaz», en el cap. 5).

La nomenclatura en este sentido es confusa porque en unos textos se habla de intensidad

Figura 2-41. Se muestra la pantalla del osciloscopio con su información gráfica y de texto. El canal A muestra una onda sinusoidal perfecta de 50 Hz. El texto informa de los parámetros en las divisiones de las cuadrículas (en este ejemplo) y de los valores alcanzados en voltaje.



2

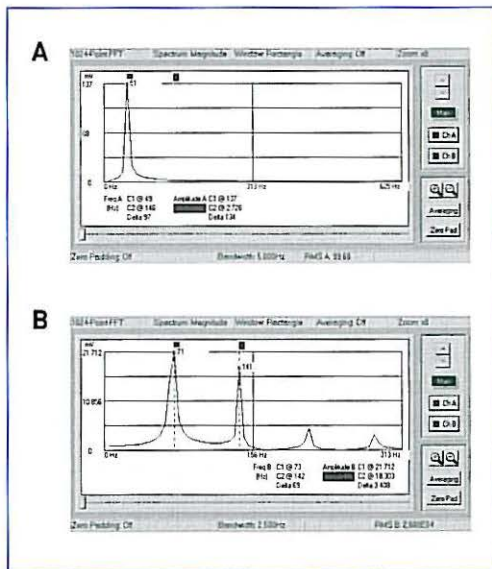


Figura 2-42. Se representan los espectros de frecuencia correspondientes a la figura 2-40 B. A) Se observa el espectro de las ondas sinusoidales con una frecuencia única y fundamental de 50 Hz. B) Se presenta el espectro de las ondas tendientes a cuadradas, donde se aprecia una frecuencia fundamental de 71 Hz, una secundaria de 141 Hz y otros picos de armónicos que van decayendo en amplitud.

des o potencias RMS, eficaces, medias, etc. El concepto de RMS y valor eficaz es lo mismo.

El valor RMS o eficaz de una magnitud se define como el rendimiento eléctrico de una corriente alterna o pulsada equivalente a otra en corriente continua (o corriente directa, en inglés). Matemáticamente hay varias formas de calcularlo y depende de que las ondas posean unos parámetros u otros. Para las ondas sinusoidales perfectas, las equivalencias (en voltaje) se presentan en la [tabla 2-3](#).

En la [tabla 2-4](#) se encuentran formas de cálculo entre valores. Es más práctica porque, a la hora de medir ondas, puede partirse del valor pico-pico (V_{pp}) o de otros. Si se desean hallar algunos valores, se multiplica o se divide según las siguientes

Tabla 2-3. Equivalencias en voltaje de las ondas sinusoidales perfectas

Si el voltaje eficaz es igual a	1 V
El voltaje medio es igual a	0,9 V
El voltaje de pico es igual a	1,414 V
El voltaje pico-pico es igual a	2,828 V

Tabla 2-4. Formas de cálculo entre valores

Valor _{ef} o RMS partido 0,707 = V _p	1,414 = $\sqrt{2}$
Valor _p por 0,707 = V _{ef} o RMS	
Valor _{pp} por 0,315 = V _m	
Valor _{pp} por 0,354 = V _{ef}	0,707 = $\sqrt{2/2}$
Valor _{pp} por 0,5 = V _p	
Valor _{pp} por 1 = V _{pp}	

RMS: valor eficaz o *root mean square*; Valor_{ef}: voltaje eficaz; Valor_m: voltaje medio; Valor_p: voltaje de pico; Valor_{pp}: voltaje pico-pico.

fórmulas: el valor medido por el factor indicado y se obtendrán los resultados pretendidos. El referido factor (en este caso, de ondas sinusoidales) se obtiene de la raíz cuadrada media de 2.

Los electroestimuladores miden los miliamperios en valores de pico, pero se necesitan saber los valores eficaces para evitar quemaduras. Si un polímetro nos mide en la opción CC (o DC según la nomenclatura) corrientes pulsadas monofásicas, por lo general indicará valores eficaces salvo que puedan pedirse diferentes parámetros (Fig. 2-43 A-D).



Video 2-12. Intensidad eficaz LP

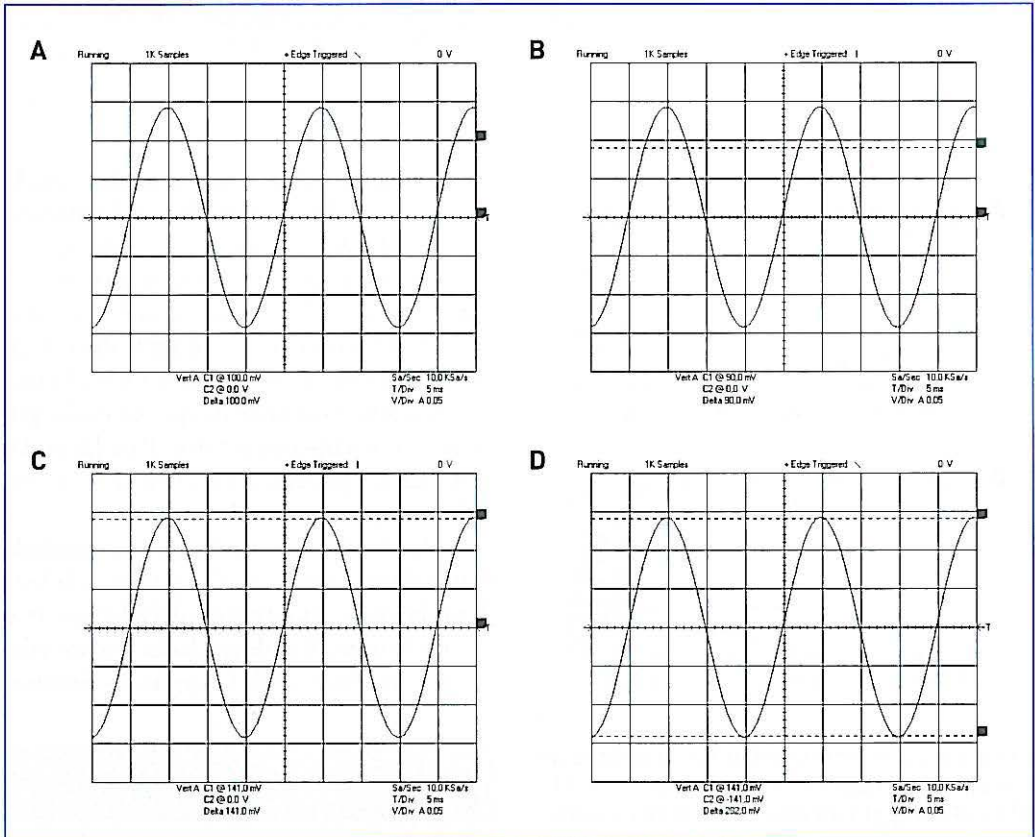


Figura 2-43. Medida de la misma señal eléctrica con sus cuatro valores típicos. A) Pueden observarse los voltios eficaces o RMS desde C2 (línea de 0) hasta C1 (en 100 mV). B) Pueden leerse los voltios medios desde C2 (en línea de 0) hasta C1 (en 90 mV). C) Pueden leerse los voltios de pico desde C2 (en línea de 0) hasta C1 (en 141 mV). D) Se encuentran los voltios pico a pico desde C2 (en -141 mV) hasta C1 (en +141 mV); así pues, pico a pico tiene el valor de 282 mV.



Práctica experimental

Se necesita el siguiente material:

- Un equipo de electroterapia que sea capaz de generar la portadora de media frecuencia sin modulaciones (con un mínimo de calidad).
- Un osciloscopio para observar y medir la onda de la portadora (hay que centrarse en los valores verticales).
- Un polímetro eléctrico para medir el voltaje (en CA) de la portadora.
- Una resistencia de unos 1.000Ω que soporte, al menos, 5 W, a modo de carga.

Las medidas se toman de manera simultánea con ambos equipos de forma paralela según el esquema de la figura 2-44.

En el osciloscopio pueden observarse los voltajes que alcanzan las ondas en valor pico y en valor pico-pico, y con ellos pueden realizarse cálculos. Se comprobará que el polímetro realice una lectura muy aproximada al voltaje eficaz o RMS calculado con el osciloscopio.

En conclusión, los instrumentos de medida eléctrica (simples) miden valores eficaces o RMS.

Tal vez el osciloscopio informe de modo numérico sobre diferentes valores de lectura, como frecuencia, voltaje de pico, voltaje pico-pico, voltaje eficaz, voltaje medio, etc.; todo depende de la calidad y complejidad del instrumento.

Estas cuestiones son muy útiles para la investigación, para entender respuestas de las corrientes monofásicas pulsadas, para aplicarlas a la técnica de ultrasonidos, para la radiofrecuencia y para el láser.

Observación de las ondas de voltaje y de intensidad en el osciloscopio



Es muy interesante observar los resultados y comparar las formas de la misma onda representada como intensidad y como voltaje, pues aparecen diferencias entre las presentadas en el osciloscopio y la aplicada, diferencias que indican que hay que unificar criterios para deci-

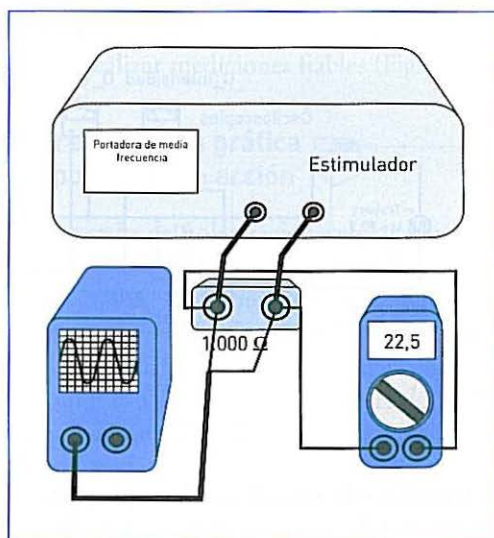


Figura 2-44. Estimulador que emite la corriente portadora de media frecuencia sobre una carga de unos 1.000Ω . Un osciloscopio y un polímetro miden de manera simultánea y en ambos puede observarse el voltaje.

dir qué onda se considera la adecuada de las obtenidas: la de voltaje, la de intensidad o la sumatoria de ambas.

Se ha estado afirmando hasta este punto que el osciloscopio es incapaz de representar la onda de intensidad; sólo lee voltajes. Es cierto, pero se puede modificar el circuito de forma que la intensidad se convierta en voltaje. Lo ideal es disponer de un osciloscopio con doble trazo (dos canales) o dos osciloscopios diferentes.

En las aplicaciones de electroterapia de baja y media frecuencia puede llevarse a cabo perfectamente, dado que la modificación que se requiere sobre el circuito (para convertir la intensidad en voltaje) prácticamente no influye en los parámetros eléctricos de la aplicación terapéutica.

Consiste en intercalar en serie una simple resistencia en uno de los cables, resistencia cuyo valor oscile entre 1 y 10Ω (en este caso de 8Ω). Esta resistencia provocará una diferencia de potencial (voltaje) entre sus extremos, voltaje que

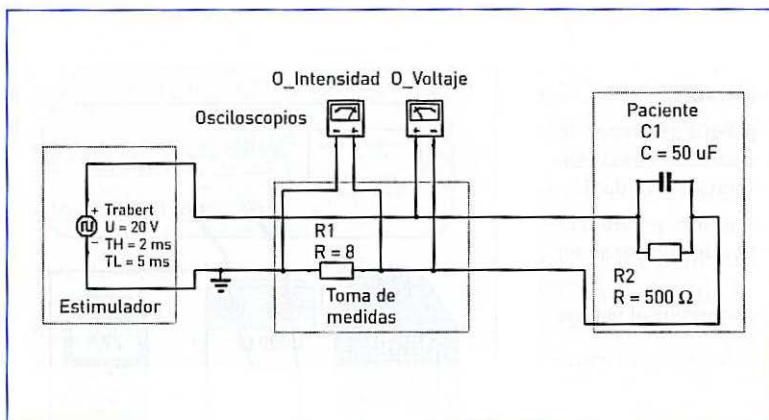


Figura 2-45. Esquema en que se aplica la corriente de Trabert (en modo voltaje constante [VC]) de un generador de onda cuadrada de 2 ms de pulso y 5 ms de reposo a un circuito RC (paciente simulado) con tomas para las medidas de los osciloscopios, cuyos resultados (mediante simulación por software) se aprecian en la figura 2-46. RC: resistencia y capacidad.

se tomará con la sonda del osciloscopio y éste representará la lectura de la onda de intensidad en uno de sus dos canales. La señal de la onda de voltaje se tomará, como siempre, por el otro canal. Las pinzas de prueba para la onda de intensidad se insertan en ambos extremos de la resistencia, la cual será capaz de soportar unos 10 W (Fig. 2-45).

Dado que el organismo posee un efecto de reactancia capacitativa, las referidas ondas se deforman respecto a la aplicada; sin embargo, el sumatorio de la onda de intensidad más la de voltaje suele recuperar la forma de la onda que se aplicó. Así pues, se tenderá a que la onda de referencia sea la sumatoria en tre ambas.

En la figura 2-46 se analiza la corriente de Trabert y, como se puede observar, en la figura 2-46 A se dibuja la onda de intensidad,

en la figura 2-46 B, la onda de voltaje y en la figura 2-46 C, la onda sumatoria de intensidad más voltaje.

Si en el esquema o circuito de la figura 2-45, en lugar de aplicar la corriente sobre un condensador y una resistencia, se hubiera aplicado sólo sobre una resistencia (Fig. 2-47), todas las ondas obtenidas de la simulación serían cuadradas porque el componente resistivo no las deforma. Sin embargo, la realidad práctica sobre un paciente se parece más a los resultados dibujados en la figura 2-46.

Como la captura de la onda de intensidad es laboriosa e implica una intervención en el circuito, normalmente se representa la de voltaje. No obstante y dado que pueden sufrir deformaciones, se debe indicar de qué onda se trata cuando se represente o se analice una corriente en el osciloscopio.

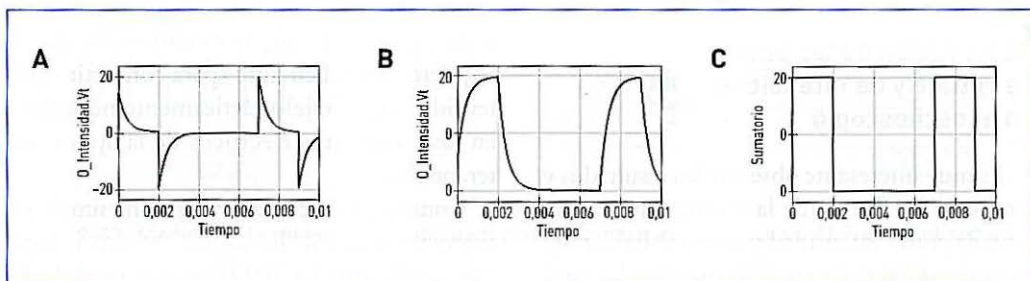


Figura 2-46. Se representa la misma onda [corriente de Trabert]. A) La onda es de intensidad deformada. B) La onda es la de voltaje también deformada. C) La onda es el sumatorio de las anteriores.

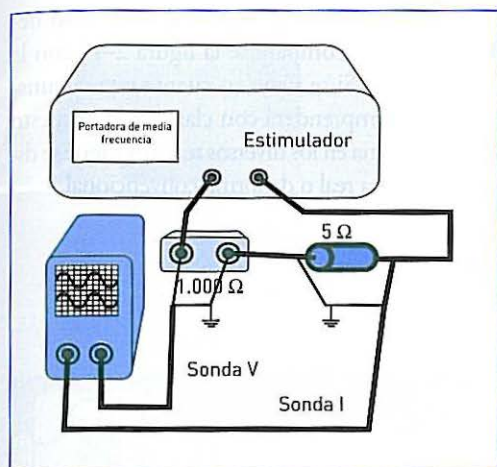


Figura 2-47. Osciloscopio con dos canales para medir la onda de voltaje y la de intensidad sobre una resistencia de carga óhmica pura. La sonda I va a otra resistencia de $5\ \Omega$ que se intercala en serie.

En la **figura 2-47** se muestra un esquema de un osciloscopio con ambos canales conectados para ver ambas ondas de manera simultánea (siempre que el osciloscopio disponga, al menos, de dos canales).

Debe recordarse en este caso que las sondas del osciloscopio son elementos electrónicos de precisión y requieren cuidado y buen trato cuando se manejan para evitar averías,

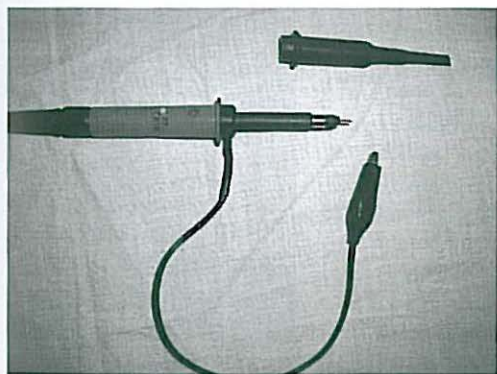


Figura 2-48. Sonda de osciloscopio formada por la punta de prueba activa, a la cual se puede adaptar una pinza retráctil, y pinza de tipo coco-drilo para masa.

deterioro y lograr que mantengan la capacidad de realizar mediciones fiables (**Fig. 2-48**).

Representación gráfica del potencial de acción

El estado de polarización celular nerviosa y su despolarización se suele representar de forma gráfica. Al fisioterapeuta le interesa saber qué ocurre cuando aplica al medio biológico, en el cual se encuentra la célula en estudio, un pulso eléctrico que interfiere de forma tal que desencadena la despolarización y sus consecuencias.

La polarización de membrana y sus «altibajos» se miden con dos microelectrodos en forma de aguja, uno en el medio extracelular y el otro en el interior celular (**Fig. 2-49**).

Es interesante aclarar una cuestión que suele conducir a discusión y a polémica sobre su representación. Dado que en el interior celular la carga iónica es $[-]$ y en el medio extracelular es $[+]$, y que el electrodo del interior celular es el activo y el electrodo del exterior es el de masa o de referencia (que va a la línea de 0 mV), el resultado del activo se dibuja por debajo de la abscisa hacia valores negativos $[-]$.

Asimismo, se sabe que el electrodo que mejor consigue la despolarización más eficiente

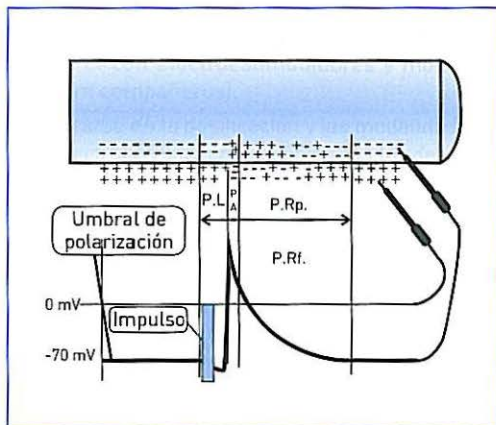


Figura 2-49. Período refractario y su representación gráfica.

es el $[-]$ y, en consecuencia, se debería dibujar como negativo según la [figura 2-49](#). Ésta sería la representación real.

Sin embargo, es frecuente representar los pulsos de electroterapia hacia el cuadrante positivo aunque refiriéndose haga referencia a pulsos de polaridad $[-]$. Este hábito conduce a dibujar también las ondas de potenciales de membrana en los

cuadrantes positivos aunque realmente sean negativos. Puede compararse la [figura 2-49](#) con la [figura 11-12](#). Si se tiene en cuenta esta circunstancia, se comprenderá con claridad lo expuesto sobre este tema en los diversos textos aunque se dibuje de forma real o de forma convencional.



Autoevaluación

Material complementario en el sitio web



- Autoevaluación
- Documentos:
 - 2-1. Medida de impedancia en un osciloscopio
- Vídeos:
 - 2-1. Galvánica
 - 2-2. Interrumpidas galvánicas
 - 2-3. Alternas y bifásicas
 - 2-4. Forma de modulación
 - 2-5 A y B. Modulación en amplitud
 - 2-6. Modulación en frecuencia
 - 2-7. Intensidad eficaz de la galvánica
 - 2-8. Intensidad eficaz
 - 2-9. Intensidad eficaz al 50
 - 2-10. Medidor de electrodos
 - 2-11. Bifásica asimétrica
 - 2-12. Intensidad eficaz LP



3

Aplicación de electroterapia

Contenido

- Conceptos generales sobre cómo aplicar corrientes de baja y media frecuencia
- Cómo dosificar de forma correcta, evitar daños y conseguir eficacia terapéutica
- Consideraciones sobre la buena práctica de las técnicas y los modos de evitar daños a los pacientes
- Descripción de puntos motores y formas de colocar los electrodos en electroterapia
- Código de colores

Objetivos de aprendizaje

- Lograr que el alumno adquiera dominio suficiente de los conceptos explicados en el capítulo para que pueda trasladarlos a la práctica.
- Entender cuáles son las circunstancias que rodean a una aplicación de electroterapia de baja y media frecuencia, así como considerar el equipo y al paciente.
- Profundizar en los sistemas de dosificación, variables y parámetros que afectan a la dosificación.
- Aprender bien cuáles son los modos y el manejo de los electrodos en electroterapia de baja y media frecuencia.
- Conseguir que el alumno ponga atención en la insistencia que se está planteando sobre cómo evitar el daño y las quemaduras a los pacientes.

Síntesis conceptual

- ✓ Este capítulo es muy importante por los conceptos de tipo general sobre la electroterapia que en él se vierten, aunque se centra en parámetros habituales de los equipos, observaciones que deben considerarse en los pacientes, dosificación correcta y modos de aplicación.
- ✓ Este capítulo requiere trasladar a la práctica lo aprendido y experimentar lo expuesto en él con electroestimuladores y modelos a modo de pacientes (entre compañeros).
- ✓ Es muy importante centrarse en la dosificación y las modalidades de aplicación o fijación de electrodos para conseguir los efectos deseados.
- ✓ En electroterapia, no sólo es importante ajustar los parámetros de las corrientes, sino que la correcta colocación de electrodos y su metodología de aplicación son fundamentales para conseguir el resultado deseado.
- ✓ Los puntos indicados para la localización de los electrodos son aproximados a causa de las variaciones anatómicas de cada individuo. Lo correcto es buscarlos de forma previa para comprobar su localización exacta.
- ✓ Se plantean las ventajas y los inconvenientes de diferentes tipos de electrodos y el código de colores utilizado para su conexión.

APLICACIÓN DE CORRIENTES DE BAJA Y MEDIA FRECUENCIA

Aunque este capítulo se dedicará, en su mayor parte, a la metodología de aplicación de corrientes de baja y media frecuencia, se iniciará con la afirmación de que la electroterapia se utiliza para conseguir los siguientes efectos fundamentales:

- *Efecto motor* o actuación sobre las fibras musculares y las fibras nerviosas motoras con corrientes de baja o de media frecuencia moduladas en baja frecuencia (menos de 250 Hz).
- *Efecto sensitivo* o actuación sobre el sistema nervioso sensitivo destinada a concienciación sensitiva y analgesia mediante corrientes de baja frecuencia o modulaciones de media frecuencia (menos de 1.000 Hz).
- *Cambios químicos* o actuación sobre los componentes que forman las disoluciones orgánicas, que influyen en el metabolismo, con la corriente galvánica o corrientes galvánicas interrumpidas, con frecuencias desde 0 hasta 10.000 Hz.
- *Efectos térmicos* al actuar sobre los tejidos por los cuales circula la energía electromagnética de manera que se genere calor dentro de ellos por la ley de Joule; se utilizarán corrientes de alta frecuencia (por encima de los 500.000 Hz). La corriente galvánica también posee propiedades térmicas.
- *Mediante el aporte de energía* al organismo, situación que puede ampliarse por extensión a los puntos anteriores, pero que se reserva en concreto para ese grupo de formas de la electroterapia que aportan diversas energías (no la electricidad en baja o media frecuencia), con la finalidad de alterar de manera secundaria algunos procesos metabólicos que, por lo general, resolverán problemas producidos por alteraciones patológicas. Este grupo puede estar formado por el *láser*, los *ultrasonidos*, los *infrarrojos*, los

baños de luz, la *luz polarizada*, los *ultravioletas*, el *magnetismo*, los *ozonizadores* y otros que «se van añadiendo».

Tras la anterior enumeración de efectos producidos por la aplicación de electroterapia, los elementos fundamentales para la aplicación de los distintos tipos de corrientes de baja frecuencia son, obviamente:

- el electroestimulador,
- el paciente,
- la dosificación y
- el sistema de aplicación (cables y electrodos).

Electroestimulador

Hay muchos aplicadores de corrientes galvánicas de baja y media frecuencia, variados en cuanto a forma, cualidades, calidades, acomodación a lo normalizado o no, etcétera.

Lo más habitual es que estos aplicadores ofrezcan las siguientes opciones:

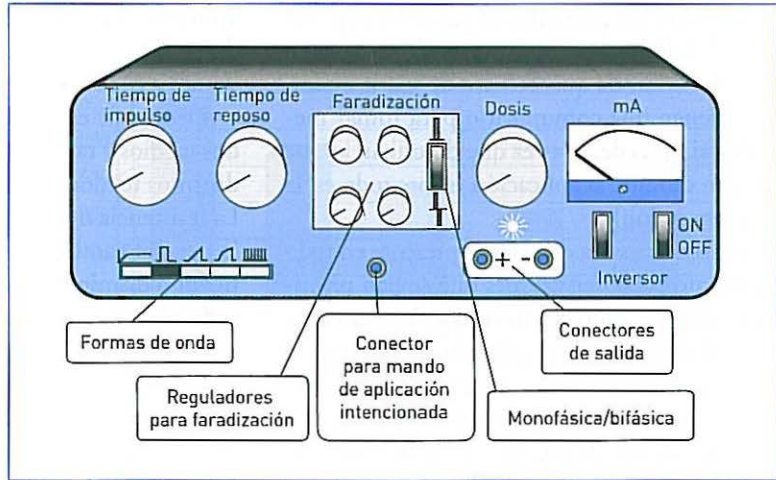
- Aplicador de galvánica y baja frecuencia.
- Aplicador de baja frecuencia tipo de TENS para analgesia.
- Aplicador de galvánica y diadinámicas.
- Aplicador de media frecuencia con corrientes interferenciales y otras destinadas al trabajo muscular y analgesia (corriente de Kots en modulación 0).

Algunas marcas combinan o incluyen dos opciones o más en un sólo aparato. Cuanto más avanza la microelectrónica y la informática, más completos, más complejos y de menor coste son los nuevos electroestimuladores.

Los elementos mínimos que debe presentar un aparato (p. ej., de baja frecuencia) son los siguientes (Fig. 3-1):

- Cumplir con las normas de seguridad establecidas.

Figura 3-1. Esquema del panel de mandos de un estimulador de baja frecuencia básico y estándar para fisioterapia.



- Caja protegida contra derivaciones y aislada del paciente.
- Interruptor de encendido/apagado.
- Piloto indicador de encendido/apagado.
- Bornes de salida al paciente, rojo [+] y negro u otro color [-].
- Selector del tipo de corriente.
- Mandos reguladores de los parámetros de las corrientes.
- Regulador de intensidad.
- Medidor de intensidad de pico (de buena calidad y eficaz).
- Inversor de polaridad (excepto en corrientes bifásicas, media frecuencia y corrientes interferenciales).
- Mando de aplicación intencionada.

Éstas serían las características mínimas que deben poseer los aparatos, ya que en la práctica cada empresa proveedora ofrece electroestimuladores con suplementos que «normalmente» los enriquecen. El fisioterapeuta debe conocer la forma de trabajo del equipo para evitar posibles quemaduras al paciente y debe tratar de averiguar si funciona en tensión constante (VC) o en intensidad constante (CC). Sin embargo, si el equipo dispone de ambas, el fisioterapeuta debe saber cómo y cuándo debe usar cada una de ellas.

Paciente

La aplicación de las corrientes que se están enumerando se realiza de forma transcutánea, situando sobre la piel los electrodos, cuyas características se detallarán más adelante. *¡Cuidado con el estado de la piel del paciente!*

Cada persona y su enfermedad presentan características y condiciones propias en sus reacciones frente a estas corrientes, según factores como:

- Psicológicos (miedo o fobia a la electricidad).
- Morfológicos (son necesarias zonas con buen estado de la piel y adecuadas a la aplicación).
- Experiencia del paciente (número de sesiones que ha recibido).
- Humedad de la piel (sudorosa, grasienta o seca).
- Estado de la piel (rugosa, degenerada o herida).
- Pérdida de sensibilidad (por denervaciones).
- Zona de aplicación (grandes masas de grasa o tuberosidades óseas).

Por ello debe tratarse de manera adecuada al paciente e introducirle en un ambiente de serenidad para que confíe en el fisioterapeuta, así como en la técnica que se le aplicará.

A todos los pacientes se les debe explicar con claridad lo que van a experimentar y se les debe avisar de que, en caso de sentir molestias, tienen que comunicarlo para tomar medidas, si procede, a la vez que describan lo que sienten durante la aplicación (sobre todo en la primera sesión).

El fisioterapeuta debe tener presente en todo momento las observaciones que se han practicado sobre el estado de la zona donde se va a aplicar el tratamiento y las indicaciones que haga el paciente de aplicaciones anteriores y de la presente, incluida una posición confortable de éste.

La ley de oro de este tipo de aplicaciones se detalla a continuación.

Nunca tienen que sentirse molestias (salvo en técnicas muy concretas), a la vez que la dosis debe ser la suficiente como para conseguir el efecto deseado o el objetivo propuesto. Si la respuesta no es la esperada, la aplicación será fallida.

En ocasiones es necesario sacrificar, en parte, el objetivo que se desea alcanzar en aras de conseguir que el paciente se vaya acostumbrando al tratamiento, sobre todo, durante las primeras sesiones.

La piel presenta una resistencia al paso de la corriente eléctrica (mucho frente a la corriente galvánica y menos frente a las corrientes variables y alternas; menor según aumenta la frecuencia). Este fenómeno se denomina impedancia (Z) y debe aclararse que, si se hace referencia al galvanismo, la impedancia, en este caso, coincide con la resistencia óhmica.

Impedancia del complejo piel-electrodo

Más que hacer referencia a la resistencia de la piel, debería hacerse referencia a la resistencia o impedancia del circuito entre paciente y estimulador, ya que el complejo (piel-esponjilla humedecida-electrodo de goma conductora) suman resistencias al paso de la energía

aplicada. Las mediciones nunca obtendrán dos valores iguales aunque se repitan. Se presentan a continuación algunos ejemplos.

Dentro de estas cifras medidas (de resultados medios y tal vez discutibles), los valores de distintos tejidos del organismo son diferentes. La resistencia o impedancia del organismo por lo general cambia con el tiempo de la sesión: tiende a disminuir. Por ejemplo, una corriente galvánica aplicada durante 5 minutos sufre una evolución que se presenta en la figura 3-2.

En caso de considerar importante conocer en determinado momento la resistencia de los tejidos a la aplicación, en la práctica es fácil obtenerla midiendo la intensidad y el voltaje para aplicar la ley de Ohm y, de forma matemática, conseguir el resultado con precisión:

$$\text{Resistencia} = \frac{\text{Voltaje}}{\text{Intensidad}}$$



Práctica 3-1

Se toman un estimulador de baja frecuencia y un polímetro para medir el voltaje en la salida. Se conecta en paralelo a la aplicación que debe realizarse y en la posición voltímetro.

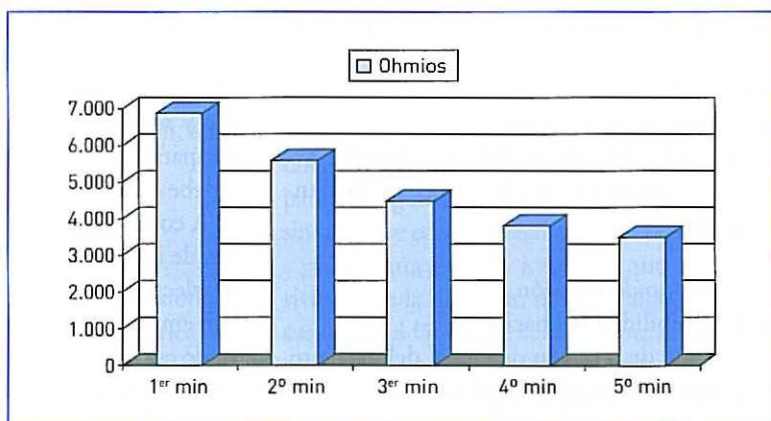
Al paciente debe aplicársele una corriente galvánica con intensidad de 5 mA. El voltímetro informa de que se aportan 18 V. ¿Cuántos ohmios ofrece el circuito del paciente? ¡Atención a las unidades!

Dosis

Cuando los fisioterapeutas aplican las técnicas de electroterapia, deben guiarse por las dosis que consigan los objetivos propuestos.

Si se trata de obtener respuestas sensitivas, la subjetividad del paciente será el baremo (aunque puedan estar aplicándose corrientes con otros efectos colaterales, como componente galvánico, frente a los cuales hay que conocer los límites indicados con medidores del equipo).

Figura 3-2. Medida de resistencia corporal ante la corriente galvánica durante 5 minutos, realizada con un medidor de impedancias.



En caso de respuestas motoras, el baremo será la palpación y la consideración sobre el nivel de contracción muscular alcanzado (aunque también puede quemarse la piel si la corriente elegida mantiene un considerable efecto galvánico).

Cuando se aplica alta frecuencia o termoterapia profunda, se desearía saber cuánta energía necesitan los tejidos para conseguir determinada cantidad de calorías que estimulen la respuesta terapéutica (valor que todavía no está claro), pero la técnica está sometida a multitud de variantes que pueden influir en la energía recibida por parte del paciente, como el tamaño de los electrodos, la distancia del electrodo a los tejidos, la resistencia de los tejidos que reciben la energía, la potencia inyectada al electrodo o aplicador, el porcentaje de rendimiento del electrodo, la apreciación personal del nivel de calor por el paciente, la respuesta del sistema neurovegetativo del paciente, etcétera.

Estos parámetros obligan al fisioterapeuta a guiarse por el empirismo, la experiencia diaria y, sobre todo, por la subjetividad del paciente. No debe olvidarse el intento constante de encontrar fórmulas o sistemas que permitan dosificar con objetividad.

Sin embargo, cuando se aplica galvanismo, ultrasonidos, láser, infrarrojos, ultravioletas, iontoforesis, corrientes diadinámicas y, sobre todo,

aquellas corrientes que mantengan poder de electrólisis, tendrá que conocerse con precisión el doble enfoque de la cantidad de energía: aplicada por el equipo y recibida por el paciente.

Si se enfoca el tema hacia la baja frecuencia, se definirá la dosis como la intensidad proporcional a las circunstancias y parámetros que se aplican en una sesión de tratamiento. A saber: si se hace pasar una corriente galvánica de 10 mA con unos electrodos de 60 cm² y también se hace pasar esa misma corriente de 10 mA con otros electrodos de 2 cm², en el primer caso el paciente comentará que nota una sensación más o menos soportable y en el segundo pedirá con urgencia que se le retire por la fuerte sensación de picor, calambre o quemazón que siente.

En el primer caso (de 60 cm²), cada cm² recibe ($10/60 = 0,166$) unos 0,165 mA/cm².

En el segundo caso (de 2 cm²), cada cm² recibirá ($10/2 = 5$) unos 5 mA/cm².

Esto obliga a tener que buscar una intensidad media de aplicación por unidad de superficie (dosis) basada en el hecho de que cada centímetro cuadrado de superficie corporal que recibe la corriente soporte siempre la misma sin que influyan otros parámetros.

Actualmente, la dosis que se está aplicando de corriente galvánica, según la mayoría de autores, se establece entre un mínimo de 0,05 mA/cm² y un máximo de 1 mA/cm².

Sin embargo, la práctica habitual, basada en la experiencia repetida, demuestra que la media que debe elegirse es de $0,15 \text{ mA/cm}^2$ para el galvanismo.

Esta cifra admite oscilaciones ya que dependen e influyen en ella varias circunstancias, como:

- el tiempo de la sesión,
- la sensibilidad del paciente,
- el grado de reacción de la piel del paciente,
- el tipo de aparato aplicador,
- el sistema de trabajo del equipo (tensión constante [VC] o intensidad constante [CC]),
- el estado de humedad de la piel y la humedad de los electrodos (resistencia) y
- el tamaño de los electrodos (resistencia).

Los fabricantes tienden a establecer como valor de referencia $0,1 \text{ mA/cm}^2$. La experiencia personal y el manejo diario llevarán a encontrar la cifra más idónea de cada forma de corriente y los distintos tratamientos con cada equipo de terapia a fin de adoptar el modelo, la humedad, la forma y la presión de los electrodos usados, pues la resistencia opuesta entre los electrodos y el paciente influye de manera directa en los resultados.

Práctica 3-2

1. ¿Cuántos mA se dosifican a un paciente si se aplica corriente galvánica con electrodos de 60 cm^2 ?
2. ¿Y cuántos mA se dosifican a un paciente si se aplica corriente galvánica con electrodos de 75 cm^2 ?

A pesar de la práctica profesional y la experiencia cotidiana, en ocasiones se causan quemaduras a un paciente o éste presenta reac-

ciones inesperadas al galvanismo, incluso si se toman las debidas precauciones y se utilizan los miliamperios correspondientes, controlados y señalados por el equipo. Algo debió de escaparse. Tal vez, la dosis no fue la adecuada o debe expresarse en otro parámetro eléctrico.

A continuación se presentan dos aplicaciones de idénticas características e igual tamaño de electrodos, pero en una los electrodos se han empapado más de agua o la goma del electrodo es de distintas propiedades en cuanto a su conductividad. En el primer caso, la resistencia es de 5.000Ω y en el segundo, de 3.500Ω .

En ambas aplicaciones se hacen pasar 7 mA . ¿Podrá asegurarse que por las dos están circulando la misma cantidad de electrones? Se calculan hallando el voltaje de forma previa:

- 1) $V = I \cdot R$; $\rightarrow V = 0,007 \cdot 5.000 = 35 \text{ V}$
- 2) $V = I \cdot R$; $\rightarrow V = 0,007 \cdot 3.500 = 24,5 \text{ V}$

Aplicar 7 mA con 35 V es distinto que aplicar 7 mA con $24,5 \text{ V}$. La potencia o rapidez en inyectar la misma energía cambia; así pues, debe precisarse con más detalle el concepto de dosis.

Práctica 3-3

1. ¿Cuántos W recibe el paciente en el primer caso de 7 mA con 35 V ?
2. ¿Cuántos W recibe en el segundo caso de 7 mA con $24,5 \text{ V}$?

Precisión en la dosis

La lógica dice que debe valorarse la energía recibida, durante cuánto tiempo y sobre qué superficie; cuál es la cantidad de energía recibida (del tipo que fuere) necesaria para conseguir los efectos terapéuticos justo en su medida, es decir, cuál es la expresión de la dosis

adecuada; cuál es la potencia eficaz, pues ésta no siempre es la indicada si la energía es de forma pulsada, y las limitaciones de la tecnología y el equipamiento. A continuación, éstas se analizan por partes.

Energía recibida

Como se ha descrito, cuando el fisioterapeuta aplica o trabaja con energía eléctrica, no puede apoyarse sólo en los miliamperios indicados, dado que, según la resistencia del circuito y de los tejidos, la cantidad de energía aplicada por cada segundo puede ser muy distinta. Por ello, si se desea saber realmente la energía aplicada por unidad de tiempo, está obligado a usar la ley de Ohm para conseguir la potencia en W o mW:

$$\text{Ley de Ohm: } V = I \cdot R; I = \frac{V}{R}; R = \frac{V}{I}$$

$$\text{Potencia} = W = V \cdot I$$

Cabe preguntarse cuál será la cantidad de electrones (o de iones en una iontoforesis) que penetrarán en los tejidos cuando se aplique galvanismo.

Se sabe que si por un circuito transcurre, en 1 s, 1 A, con una diferencia de potencial de 1 V, puede afirmarse que han circulado por el punto de medida 6,25 trillones de electrones (1 culombio). Sin embargo, si se mide 1 A, con la diferencia de potencial de 5 V, se habrán inyectado 31,3 trillones de electrones (5 culombios).

A la potencia (de salida) se le aplicarán variables que influyen en pérdidas, como la resistencia de los circuitos, rendimiento del cabezal en ultrasonidos, pérdidas de las fibras ópticas en el láser, distancia de los electrodos a la piel en alta frecuencia, etcétera.

Según esto, para efectos galvánicos y por el momento, la dosis debería expresarse en mW/cm² en lugar de mA/cm², sin haber considerado todavía el tiempo de la sesión.

Tiempo de la sesión

Una vez que se ha obtenido la cantidad de energía aplicada en 1 s (unidad de tiempo), se está obligado a decidir el tiempo que va a ser necesario para conseguir el efecto terapéutico pretendido, sin quedarse corto ni pasar a efectos no deseados.

Continúa siendo habitual que el empirismo guíe la decisión, salvo en algunas técnicas como el láser, que se han depurado de manera suficiente.

En cuanto se aplique una cantidad de energía por segundo (potencia) durante determinado tiempo, se estará haciendo referencia a trabajo generado por la máquina que se transformará en otra energía o en otros fenómenos físicos o químicos, expresados en julios.

El número de julios aplicados será el valor real de la energía eléctrica, electromagnética, sonora, luminosa, magnética, etc. que, después de aplicarse, conseguirá los efectos deseados sin ambigüedades, polémicas ni apetencias terapéuticas de cada profesional.

Superficie de aplicación

Al aplicar galvanismo pueden utilizarse electrodos más o menos grandes, los ultrasonidos sobre mucha zona o poca zona, o el láser en barridos más o menos amplios.

A continuación se presenta un ejemplo similar a otro descrito con anterioridad, con el cual se demuestra la influencia de la superficie en los mA/cm² y en la necesidad de saber el voltaje, además de la intensidad. Con todo, ahora se utilizará para intentar llegar al concepto de *dosis verdadera*, con precisión más ajustada, expresado en J/cm².

Se aplican dos iontoforesis, por ejemplo, y al cabo de ambas sesiones se han recibido 100 J en cada una, durante el mismo tiempo de sesión. En una se han utilizado electrodos de 100 cm² mientras que en la segunda los electrodos han sido de 5 cm². Cuando se retiran los electrodos, ¿tendrá la piel el mismo as-

pecto?, ¿los efectos metabólicos serán los mismos en cada aplicación?

La lógica y la experiencia indican que, de alguna manera, tendrá que considerarse la superficie de aplicación y se decidirán los J que se desean aplicar (los mismos en cada caso) y se adaptarán a electrodos grandes o pequeños.

En ese momento se decidirá que cada cm^2 reciba determinado número de J de luz, de energía cinética, de energía térmica, etc. o, lo que es lo mismo, se decidirá la dosis verdadera y se integrará en la fórmula base del trabajo la dosis o densidad de energía por cada cm^2 .

Para integrar la dosis en la fórmula base, se sustituirá la variable de J por otra expresión matemática equivalente. Los J totales son el producto de potencia por tiempo y también equivalen a los J recibidos en cada cm^2 por los cm^2 de aplicación. Así pues, las siguientes expresiones son idénticas (Fig. 3-3).

A continuación se resuelven estos ejemplos:

¿Cuántos J totales se han depositado en una superficie de 80 cm^2 si en cada cm^2 se han recibido 2 J?

$$2 \text{ J (cm}^2) \cdot 80 \text{ (cm}^2) = 160 \text{ J totales}$$

Se plantea a continuación otro problema. Frente a un caso real de aplicación (p. ej., de láser), se poseen las siguientes variables: $W = 2$; $S (\text{cm}^2) = 50$; dosis en $\text{J/cm}^2 = 4$, y tiempo (t) = X.

La única incógnita que resta por averiguar es el tiempo de la sesión; se aísla la expresión del tiempo y queda como sigue:

$$t = \frac{J (\text{cm}^2) \cdot S (\text{cm}^2)}{W} = \frac{4 \cdot 50}{2} = 100 \text{ s}$$

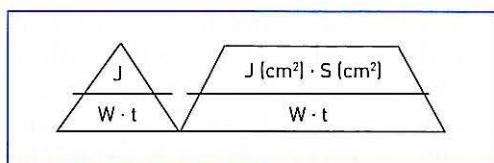


Figura 3-3. Ecuación de Joule e igualdad entre dosis por superficie y potencia por tiempo.

En las condiciones señaladas, el equipo estará en funcionamiento durante 100 s.

Dosis o densidad de energía

La dosis o J recibidos por cada cm^2 dependerá siempre de la investigación y de las conclusiones a que se lleguen por la fisiología y el conocimiento de las distintas energías aplicadas.

Este punto es el más importante, el más confuso, el menos desarrollado y el reto más inmediato que tienen los fisioterapeutas para trabajar con precisión y eficacia, y tratar de huir del empirismo personal e individual o del «ojo de buen cubero».

¿Qué día podrá responderse a las siguientes preguntas?:

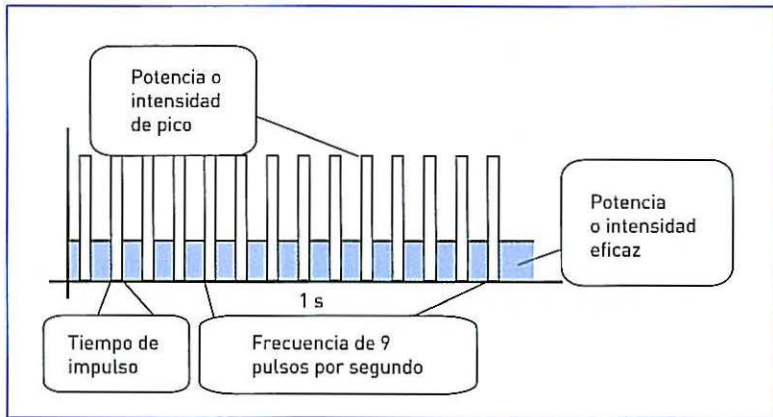
- ¿Cuál es la dosis en J/cm^2 de corriente galvánica para una electroforesis? Debe tenerse en cuenta que para cálculos electroquímicos se utiliza la ley de Faraday.
- ¿Cuál es la dosis en J/cm^2 de ultrasonidos recibidos para obtener buenos efectos terapéuticos, por ejemplo, en una tendinitis rotuliana?
- ¿Cuál es la dosis en J/cm^2 de láser para determinados efectos terapéuticos? Muchos ya están resueltos aunque todavía se encuentran sometidos a fuerte polémica.
- ¿Cuál es la dosis en J/cm^2 de la corriente galvánica para producir una coagulación anódica de tejidos (quemadura)? A esta pregunta ya se ha respondido con anterioridad.

Y de esta guisa quedan bastantes dudas por resolver.

Potencia eficaz

En multitud de ocasiones hay que añadir otra variante a los cálculos anteriores, que consiste en el hecho de que, en muchas ocasiones, las energías se aplican de forma pulsante (Fig. 3-4). Ello obliga a calcular la potencia eficaz (W_{ef}) o RMS (del inglés *root mean square*), que siempre resultará menor que la alcanzada por los pul-

Figura 3-4. La potencia de pico es el máximo que alcanzan los pulsos durante su duración. La potencia eficaz es la resultante de considerar los máximos menos sus reposos.



dos, dado que entre cada pulso existe un reposo o «parada en la aplicación» que le resta eficacia.

Para su cálculo se consideran la potencia alcanzada por cada pulso (W_p), la forma, el tiempo de cada pulso (t_p en s) y el número de pulsos contenidos en un segundo (F_{Hz}). No se requiere multiplicar por 1 s, pero didácticamente aclara más el concepto. Con pulsos cuadrangulares es igual a:

$$W_{ef} = W_p \cdot t_p \cdot F_{Hz} \cdot 1s$$

Potencia de pico

La potencia de pico (W_p) es la potencia alcanzada en los pulsos contenidos en 1 s al coincidir con su máxima altura. Con pulsos cuadrangulares es igual a:

$$W_p = \frac{W_{ef}}{t_p \cdot F_{Hz} \cdot 1}$$

Intensidad eficaz

Al igual que para la potencia (W), cuando las corrientes son pulsadas, la medición de la intensidad eficaz (I_{ef}) se expresa como un parámetro eficaz o resultante de un cálculo, en el cual se considera la intensidad alcanzada por cada pulso (I_p), la forma del pulso, el tiempo de cada pulso (t_p en s) y el número de pulsos conteni-

dos en un segundo (F_{Hz}). No se requiere multiplicar por 1 s, pero didácticamente aclara más el concepto. Con pulsos cuadrangulares es igual a:

$$I_{ef} = I_p \cdot t_p \cdot F_{Hz} \cdot 1s$$

Intensidad de pico

La intensidad de pico (I_p) es la intensidad alcanzada en los pulsos contenidos en 1 s al coincidir con su máxima altura. Con pulsos cuadrangulares es igual a:

$$I_p = \frac{I_{ef}}{t_p \cdot F_{Hz} \cdot 1}$$

Tanto en la potencia como en la intensidad se emplea la misma fórmula, pero se sustituye la W por la I .

Dado que los equipos de baja frecuencia y media frecuencia miden la intensidad de pico, en corrientes donde sea importante la potencia o intensidad real o eficaz previamente habrá que hallar la potencia eficaz. Si no se hiciera así, se incurriría en un serio error.

A continuación se aporta un ejemplo. ¿Cuál será la intensidad eficaz (o componente de corriente galvánica) en una corriente formada por impulsos cuadrangulares de 2 ms, cuya intensidad de pico es 150 mA y su frecuencia, 80 Hz?

$$I_{ef} = I_p \cdot t_p \cdot F_{Hz} = 150 \cdot 0,002 \cdot 80 = 24 \text{ mA}$$



Práctica 3-4

1. ¿Cuál será la intensidad eficaz en una corriente de 200 Hz con pulsos cuadrangulares de 1 ms si el estimulador indica 18 mA?
2. ¿Cuál es la intensidad de pico en una corriente cuyo valor de intensidad eficaz es 4 mA, su frecuencia es 150 Hz y su anchura de pulso cuadrangular 0,5 ms?

Factor forma del pulso

Cuando se utilizan impulsos en electroterapia de baja frecuencia, no siempre son cuadrangulares. En ocasiones se aplican pulsos con otras formas, pero las más frecuentes son cuadrangulares, triangulares y sinusoidales. A continuación se procede a calcular la potencia eficaz dependiendo de la forma de los impulsos empleados (Fig. 3-5).

Se considera el factor de pulso de 1 para pulsos cuadrangulares, de 1/2 para triangulares y de 2/3 para sinusoidales.

La fórmula definitiva (si se considera 1 s como implícito) para obtener dicha potencia media será:

$$W_{ef} = W_p \cdot t_p \cdot F_{Hz} \cdot \%$$

El tiempo de pulso se facilitaría en segundos; la frecuencia, en hercios; y el factor de forma, en fracción o en porcentaje.



Práctica 3-5

1. ¿Cuál es la intensidad eficaz de una corriente de 30 mA pico, con pulsos triangulares de 4 ms y una frecuencia de 125 Hz?
2. ¿Cuál es la intensidad eficaz de una corriente de 12 mA de pico, con pulsos sinusoidales de 10 ms y una frecuencia de 50 Hz? Coincide con la monofásica fija (MF) de las corrientes diadinámicas.

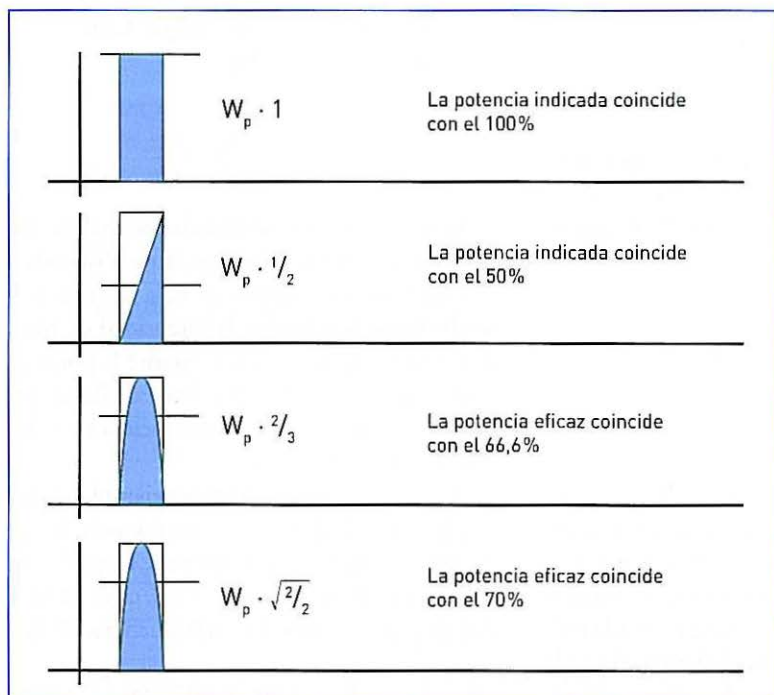


Figura 3-5. El área de los pulsos afecta al mayor o menor aporte energético.

El factor de forma de pulso o impulso en alta frecuencia se desprecia o ya está aplicado en la potencia de pico informada por el fabricante. En ultrasonidos siempre se considera que es 1, es decir, cuadrangular.

Limitaciones de los aparatos

Como la realidad y la práctica cotidiana llevan a trabajar con la intensidad en lugar de utilizar la potencia (porque los equipos de baja frecuencia y media frecuencia no la reflejan), continuará utilizándose el concepto de dosis en mA/cm². El concepto de dosis en J/cm² permanecerá como hipótesis de trabajo y para futuras investigaciones con la esperanza de haber sembrado la suficiente inquietud investigadora.

Así pues, si se parte de una dosis media para el galvanismo de 0,15 mA/cm², cuando se apliquen corrientes galvánicas interrumpidas, para mantener la misma intensidad media, habrá que aumentar bastante la intensidad de pico.

De hecho, cuando se aplican corrientes galvánicas interrumpidas hay que despreocuparse de la intensidad media, ya que los efectos de estimulación motora o sensitiva esperados por estas corrientes se consiguen normalmente antes de alcanzar 0,15 mA/cm² de intensidad eficaz. En caso de tratamientos en los que es necesaria mucha intensidad para conseguir los objetivos propuestos, es conveniente controlar y calcular la dosis eficaz para evitar daños o encontrar errores en la aplicación.

¿Se corre el riesgo de quemadura galvánica con la corriente de Trabert bajo un electrodo de 10 cm² y una intensidad de 20 mA de pico?

Primero debe comprobarse qué intensidad corresponde a cada cm²:

$$20 \text{ mA}/10 \text{ cm}^2 = 2 \text{ mA}/\text{cm}^2; \text{ bastante por encima de } 0,15 \text{ mA}/\text{cm}^2$$

Sin embargo, la intensidad en este caso depende de impulsos, reposos y frecuencias, por lo que se aplicará la fórmula de intensidad eficaz según los datos reflejados en la figura 3-6:

$$I_{ef} = 20 \text{ mA} \cdot 0,002 \text{ s} \cdot 142 \text{ Hz} \cdot 1 = 5,68 \text{ mA}$$

$$5,68 \text{ mA en todo el electrodo}/10 \text{ cm}_2 = 0,568 \text{ mA}/\text{cm}^2$$

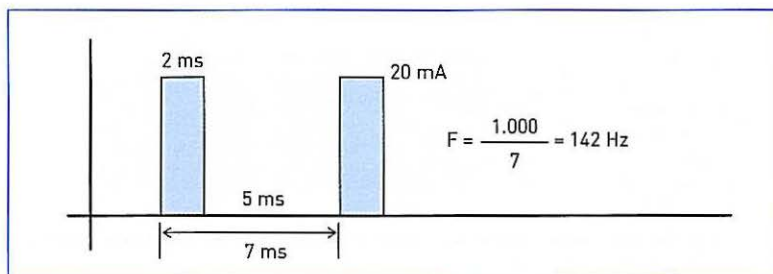
Así, se concluye que 0,56 mA/cm² es más alto que 0,15 mA/cm², por lo cual, si esta corriente se aplica durante un tiempo prolongado en las condiciones referidas, cuando menos, se irritará bastante la piel si no se quema.

Sistema de aplicación

La conexión entre el aparato productor de corrientes y el paciente se realiza mediante unos simples cables (de buena calidad) que se insertan en los conectores de salida del aparato por un extremo, mientras que por el otro terminan dentro de la goma conductora del electrodo (Fig. 3-7).

El electrodo está formado por una parte conductora metálica o goma semiconductora y una capa envolvente de esponja natural, bayeta, gasas, gamuza o un paño humede-

Figura 3-6. Detalles de la corriente de Trabert.



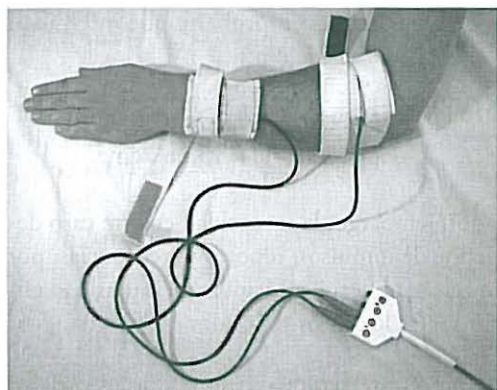


Figura 3-7. Todo circuito requiere, al menos, dos electrodos con sus gamuzas humedecidas y su fijación.

cido que envuelve al metal o goma conductora para impedir que la parte más conductora entre en contacto directo con la piel, a fin de evitar quemaduras químicas, es decir, la parte de almohadilla humedecida regulariza la resistencia y el apoyo, y suaviza el paso de la corriente con el fin de reducir al mínimo el efecto electrolítico, las irritaciones, el efecto punta y el efecto borde (Fig. 3-8).

La parte conductora del electrodo debe recortarse sin dobleces en su superficie, más pequeña y redondeada que la parte de almohadilla, para garantizar que la placa quede bien envuelta y no toque la piel en ningún punto ni en ningún momento.

El efecto punta y el efecto borde consisten en que los electrones circulantes por un conductor (en este caso, una placa), tienden a acumularse en las superficies, más en los bordes y aún más

en las puntas o esquinas. Ello significaría que, si un electrodo con una esquina muy marcada se pone en contacto con la piel (reduciéndose mucho su resistencia), por ese punto pasarían más electrones que por otras zonas con el consiguiente riesgo de producir una quemadura de tipo electroquímico. Por tal motivo, se deben recortar y dejar las esquinas redondeadas y los bordes bien rematados, junto con la precaución de evitar que adquieran rugosidades o dobleces por el uso. El efecto punta y borde puede producirse también en los metales de osteosíntesis y endoprótesis.

Los electrodos metálicos sólo se reservarán para aplicaciones específicas con electrodos manuales o para corrientes sin componente galvánico (sin polaridad). Los electrodos actuales son de goma conductora con un «alma metálica en su interior» (Fig. 3-9 A y B). Si se corta un electrodo de forma transversal, sucesivas veces a lo largo de su longitud, podrá apreciarse la trama de hilos de cobre que avanzan por el centro. Cuando se deteriore el electrodo y emerjan a la superficie los hilos de cobre, se retirará como no apto para el uso.

Deben preferirse los electrodos con esponjilla sobre los electrodos adhesivos ya que estos últimos quedan muy superficiales y pueden ser interesantes para el estímulo sensitivo, pero no para el estímulo motor ni para cambios electroquímicos (v. «Uso de electrodos adhesivos o electrodos con esponjilla», más adelante).

Los cables de aplicación deben ser uno de color rojo, siempre [+], y el otro negro, [-], o de otro color. Es importante seguir el trayecto

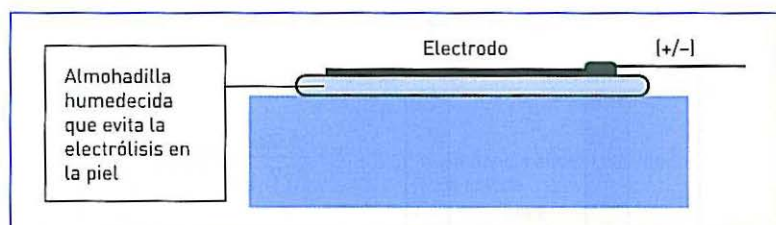


Figura 3-8. Esquema del contacto paciente-electrodo: la base amplia inferior representa el organismo humano; en el centro, la gamuza humedecida impide el contacto entre electrodo y piel y, en la parte superior, la goma conductora del electrodo que no debe entrar en contacto directo con la piel del paciente.

trodo y piel y, en la parte superior, la goma conductora del electrodo que no debe entrar en contacto directo con la piel del paciente.

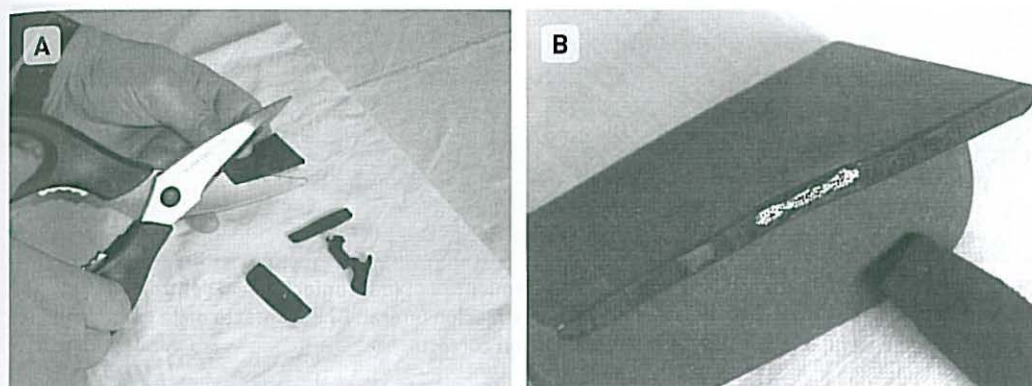


Figura 3-9. A) Se realizan cortes sucesivos para comprobar hasta dónde avanza la trama metálica. B) Detalle del alma metálica de un electrodo tras un corte transversal.

del cable desde su salida hasta su electrodo correspondiente (y contar con la polaridad marcada por el interruptor de inversión). Para que esto se pueda realizar con facilidad, se tratará de que en todo momento los cables no presenten enredos.

La aplicación puede realizarse de dos formas básicas (Fig. 3-10):

- *Aplicación manual*, mediante colocación y mantenimiento del electrodo, por parte del fisioterapeuta, sobre el punto deseado (situación frecuente en las parálisis faciales).
- *Aplicación de electrodos fijos* con gomas, ventosas, electrodos adhesivos o cintas que los

mantienen en el mismo lugar durante la sesión (la más habitual).

Los electrodos tienen que aplicarse de forma que no aparezcan zonas excesivamente comprimidas contra la piel mientras otras están parcialmente despegadas, lo que producirá sensaciones de quemazón y de picores molestos, y quizá no sólo sensación, incluso quemaduras bajo las zonas de presión acentuada (Fig. 3-11).

El tamaño de los electrodos debe elegirse de acuerdo con los criterios de los efectos que se deseen conseguir, el tipo de corriente y la zona en que van a ser aplicados.

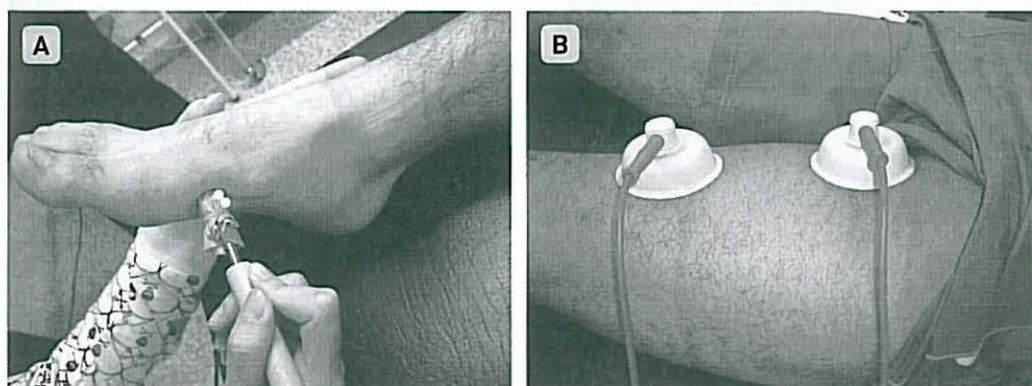


Figura 3-10. A) Aplicación con electrodo manual y puntual (el electrodo masa está distante y es mucho mayor). B) Dos electrodos ventosa cierran el circuito entre sí y son de tamaño semejante.

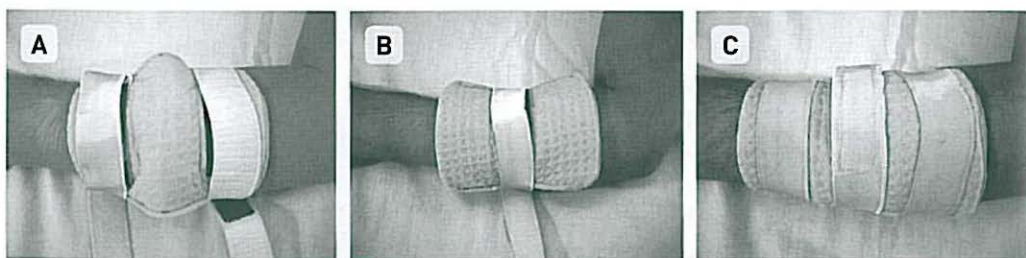


Figura 3-11. A) La fijación es errónea por el abombamiento y el mal contacto en el centro del electrodo. B) Tampoco es correcta esta fijación por la deficiente fijación lateral. C) El contacto de la gamuza es homogéneo y completo; por lo tanto, ésta es una fijación correcta.

Por lo general se emplearán dos electrodos de manera que uno trabaje como activo (más pequeño), donde se concentrarán más los efectos de la corriente, y el otro electrodo será el

pasivo, indiferente o masa (más grande). En otras ocasiones, las exigencias de la técnica de tratamiento obligarán a realizarlo con dos electrodos iguales en tamaño (Fig. 3-12).

En general, se tendrá preparada una variedad de tamaños de acuerdo con las exigencias de la práctica cotidiana (Fig. 3-13). En la tabla 3-1 se presenta la composición de una posible gama de tamaños.

No puede olvidarse el electrodo de aplicación manual o puntual (Fig. 3-14 A), que es un electrodo con mango. En su extremo posee un cabezal metálico pequeño, ya que se destina a la aplicación en puntos motores o zonas localizadas. Se suministra con los electroestimuladores y suele estar acompañado de dos o tres terminales de distinto tamaño (Fig. 3-14 B).

Si los electrodos van a ser utilizados para corrientes interferenciales o de media frecuencia tetrapolar, en lugar de parejas, se necesitarán cuatro electrodos.

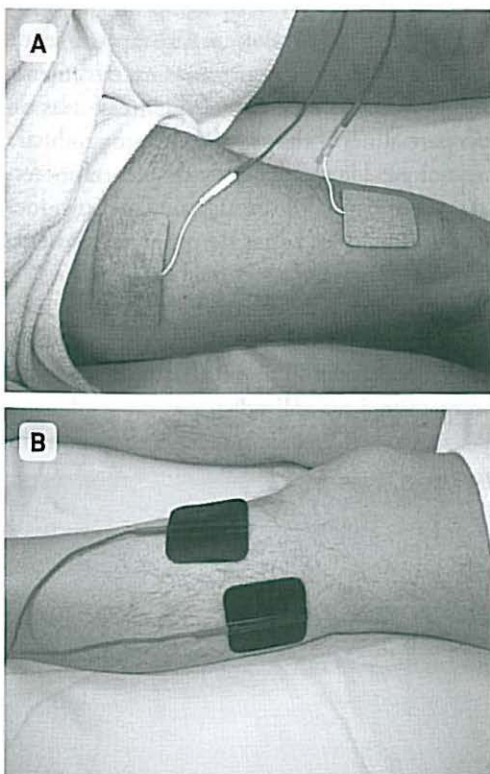


Figura 3-12. A) Aplicación bipolar con proximal mayor y distal menor. B) Dos electrodos de igual tamaño sobre puntos motores, tibial anterior y ciático poplíteo externo, muy frecuente en las estimulaciones funcionales.

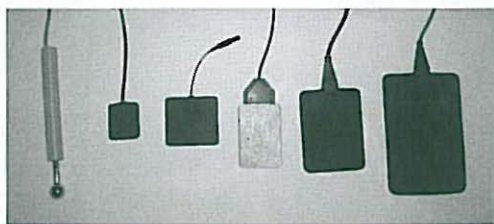


Figura 3-13. Electrodos variados en cuanto a tamaño y modo de aplicación (sin gamuza cobetora). A la izquierda, electrodo manual y, a la vez, puntual.

Tabla 3-1. Tamaños más habituales de electrodos para el uso cotidiano

Número de electrodos recomendables	Dimensiones	Superficie efectiva, en cm ²	Intensidad media para galvanismo (0,15 mA/cm ²), en mA
1	2 × 2	3	0,45
4	4 × 4	15	2,25
4	4 × 8	30	4,5
4	8 × 8	60	9
2	8 × 16	120	18
2	16 × 16	240	35

Para mejorar la precisión y la eficacia en los tratamientos es recomendable tener siempre a mano material para diseñar y construir electrodos de acuerdo con las circunstancias de cada paciente. Para ello, se dispondrá de tijeras, plancha de goma conductora y bayeta.

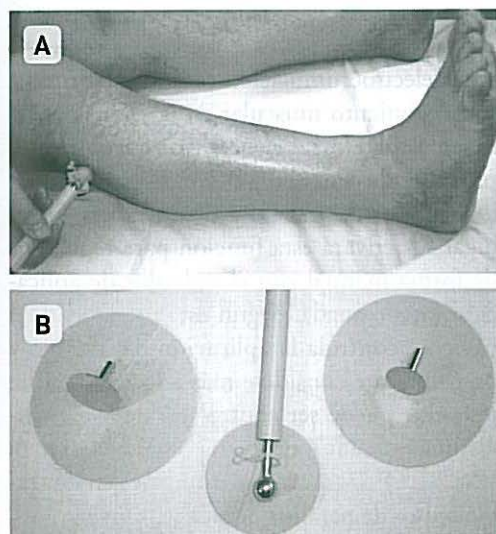


Figura 3-14. A) Aplicación puntual sobre el punto motor nervioso del ciático poplíteo externo. B) Equipamiento de un electrodo puntual con tres terminales de diferente tamaño y sus correspondientes gamuzas.

Tabla 3-2. Intensidades e impedancias medidas con algunas corrientes de electroterapia

Corriente	Miliamperios	Impedancia (Ω)
Galvánica	3,5	7.060
Galvánica	5,1	4.410
Galvánica	6,9	4.040
Portadora de 2.000 Hz MF	40	1.260
Portadora de 4.000 Hz MF	40	1.030
Portadora de 6.000 Hz MF	40	920
Portadora de 8.500 Hz MF	40	850
Trabert	10,5	4.980
TENS (400 μs/ 100 Hz)	30	2.510
Diadinámica (MF)	16,5	3.790
Microgalvánica continua	1,2	9.810
Microgalvánica pulsada	1,2	11.450
Microcorriente de 100 Hz bifásica desfasada	1,2	6.470

MF: modulada en frecuencia; TENS: técnica de estimulación nerviosa transcutánea.



Vídeo 3-1. Esponjillas

Una forma rápida de construir un electrodo puede consistir en (Fig. 3-15):

- Se corta un cuadrado de gamuza más de cuatro veces mayor que la superficie de la goma conductora.

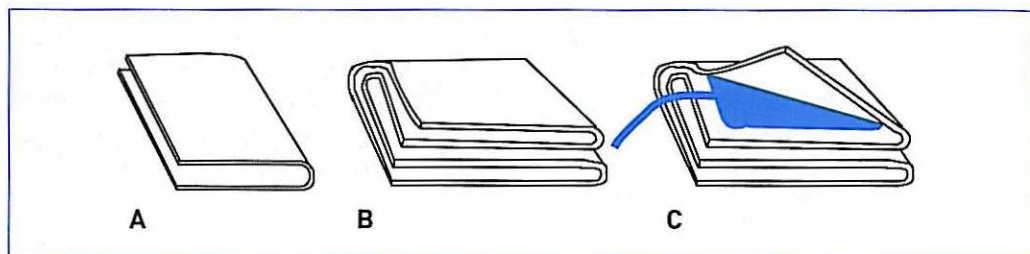


Figura 3-15. A) Una vez que se ha recortado un trozo de gamuza, se practica un doblez. B) A continuación se practica el segundo doblez. C) Después se introduce la goma (o metal) entre los dobleces y se dejan tres capas para el paciente y una para el exterior.

- Se le practican dos dobleces para aumentar el grosor del almohadillado.
- Se coloca el electrodo recortado (con las puntas redondeadas y de tamaño más pequeño que la gamuza) y se dejan tres capas para el paciente y una para el exterior.

Sobre las intensidades medias sugeridas en la [tabla 3-2](#), corresponde establecer algunas aclaraciones:

- Como se ha descrito con anterioridad, cada cual debe hallar las intensidades más convenientes para sí mismo y para el paciente, y tener en consideración los medios con que cuenta.
- Una vez que se ha calculado la intensidad teórica por cada cm^2 (dosis) adecuada, ello servirá como punto de partida. El valor definitivo estará determinado por las circunstancias personales del paciente, la reacción de la piel y ante el método utilizado. Se aplicará como dosis definitiva aquella dictada por los objetivos propuestos en cada momento.
- No se cumple exactamente la ley de multiplicar la dosis por el número de cm^2 del electrodo, ya que en la práctica, cuanto mayor es el electrodo, la intensidad soportada por el paciente va sufriendo una tendencia inversa al aumento de la superficie debido a la disminución de la resistencia con el aumento de la superficie (v. «Resistencia de los electrodos», en el cap. 1). Además, frente a corrientes sensitivas y motoras, cuanto mayor es la zona irritada, más

cantidad de impulsos irritativos tiene que soportar el nervio que inerva la zona. El coeficiente adecuado de disminución para obtener la progresión de intensidad, según aumenta el tamaño del electrodo en corrientes sensitivas y motoras, está determinado por la subjetividad sensitiva del paciente.

- Siempre que se tenga en consideración esta cifra media o dosis, se establecerá con relación al electrodo más pequeño de los dos utilizados.

Aplicación intencionada

La electroestimulación motora destinada a fortalecimiento muscular en ocasiones se requiere para reforzar el ejercicio activo del propio músculo. Por ello, no se deben programar los tiempos de trabajo y de descanso. En su lugar se activará esta función para regularlos de forma manual con el pulsador de aplicación intencionada. Según esta modalidad, el paciente controla la aplicación del trabajo y de pausa que considere más adecuados. Este pulsador puede ser controlado de forma distinta por el fisioterapeuta o por el paciente. (Fig. 3-16). Esta técnica es muy útil en los tratamientos de parálisis periférica.

Colocación de los electrodos

A la hora de aplicar los electrodos, se decidirá si se llevará a cabo de forma:

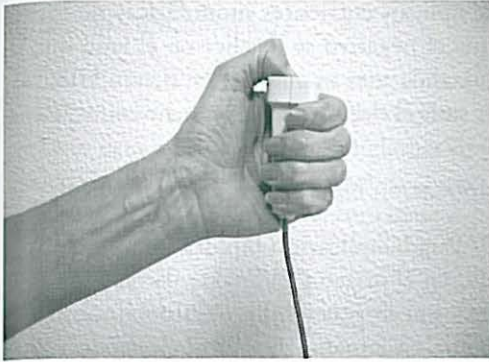


Figura 3-16. El mando de aplicación intencionada en unas corrientes sirve para aplicar y detener la aplicación de forma cadencial (control de trenes). En otras corrientes sirve para detener la sesión a modo de alarma o protección del paciente.

- 1) monopolar (Fig. 3-17),
- 2) homolateral (Fig. 3-18),
- 3) bipolar (Fig. 3-19),
- 4) contralateral (Fig. 3-20),
- 5) longitudinal (Fig. 3-21),
- 6) metamérico (Fig. 3-22),
- 7) manual (Fig. 3-17),
- 8) multipolar y
- 9) tripolar.

Aplicación monopolar

Si la colocación de los electrodos es monopolar, el electrodo activo será bastante más pe-

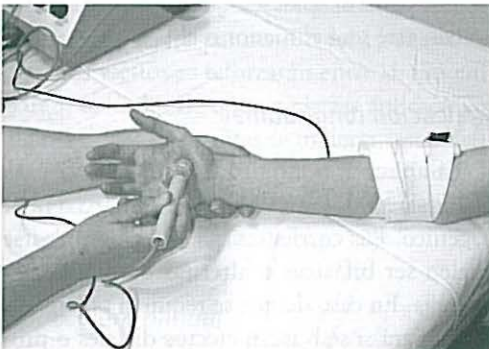


Figura 3-17. Aplicación monopolar de electrodos y, a la vez, manual.

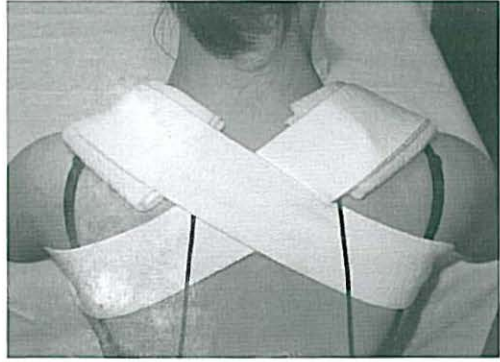


Figura 3-18. Aplicación homolateral de electrodos sobre ambos trapecios de manera simultánea.

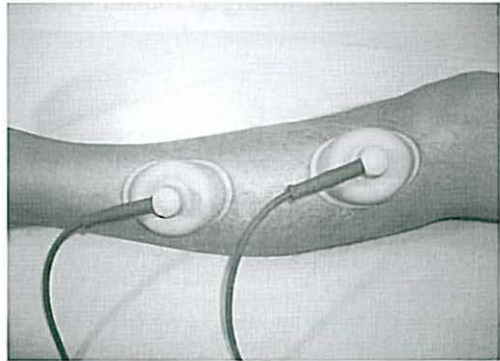


Figura 3-19. Aplicación bipolar de electrodos sobre el tibial anterior.



Figura 3-20. Aplicación contralateral de electrodos con dos electrodos ventosa.

queño que el electrodo masa y se colocará sobre el mejor punto motor muscular o nervioso (deberá coincidir con la placa motora o una zona nerviosa cercana a la superficie). Además,

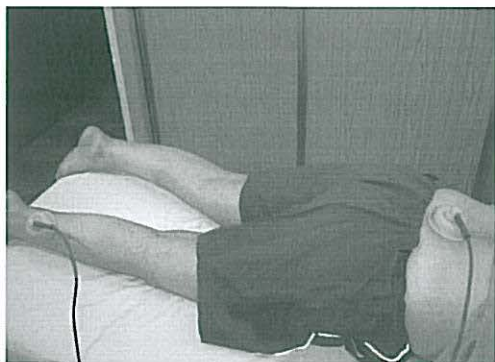


Figura 3-21. Aplicación longitudinal de electrodos a lo largo del trayecto del ciático con dos electrodos ventosa.



Figura 3-22. Aplicación de dos electrodos ventosas que siguen una metámera para conseguir analgesia secundaria preganglionar.

el electrodo activo será normalmente el $[-]$ y se colocará en sentido distal para conseguir los mejores resultados excitomotores o excitosen-sitivos.

Aplicación homolateral

Las aplicaciones homolaterales son escasas, pero en ciertas circunstancias son muy útiles: como en ambos trapecios, a ambos lados de la columna, en ambos puntos motores del ciático poplíteo externo. En las aplicaciones homolaterales, las corrientes suelen ser bifásicas para igualar respuestas. En caso de desear una respuesta diferente (o equilibrar diferencias),

se aplican corrientes monofásicas de forma que el negativo se localice en el lado que se pretenda más respuesta o, si fueran bifásicas, se sitúa el electrodo más pequeño como activo.

Aplicación bipolar

Para la aplicación bipolar (sendos electrodos en el origen y el final de la masa muscular), por lo general, los electrodos son semejantes en tamaño aunque el electrodo activo puede ser más pequeño que el neutro (el neutro, en este caso, pierde su importancia como masa y se puede comportar también como activo). La respuesta será más efectiva cuando se coloque el activo como distal, que sea negativo y más pequeño. Es conveniente intentar un cambio de polaridad por si los resultados son mejores, ya que, cuando el electrodo proximal es negativo y puede coincidir con el trayecto de una rama nerviosa, las contracciones pueden ser más selectivas y de mayor eficacia motora.

Aplicación contralateral

La aplicación contralateral se usará más para el galvanismo, la iontoforesis o los efectos sensitivos, pero en determinadas ocasiones es factible emplearla para una respuesta motora, aunque ésta será menos precisa y poco selectiva. Los electrodos pueden tener igual tamaño, pero, si se desea que uno actúe como activo, éste será el menor o el $[-]$.

Aplicación longitudinal

La aplicación longitudinal se reserva para analgesia en dolores de tipo neurálgico o neurogénico. Las corrientes que deben emplearse suelen ser bifásicas o alternas de media frecuencia. En caso de que se requiera polaridad, se valorará si se buscan efectos distales o proximales. Donde se localice el $[-]$, la respuesta sensitiva será mayor.

Aplicación metamérica

La aplicación metamérica es semejante a la anterior, pero en este caso puede seguirse el trayecto neural primario o preganglionar simpático. Un electrodo se sitúa sobre el nacimiento del ramo nervioso y el otro en la zona de dolor metamérico. Las corrientes indicadas no suelen poseer polaridad, por lo que se aplican corrientes alternas de media frecuencia o corrientes bifásicas de baja frecuencia.

En resumen, ante aplicaciones de respuesta sensitiva y motora, se establecerán tres pautas:

- A electrodos del mismo tamaño, el [-] presenta una respuesta mejor.
- A electrodos de distinto tamaño, el más pequeño manifiesta una respuesta más selectiva.
- En aplicación bipolar, en general, se consigue mejor respuesta si el distal es [-] y el proximal es [+], de no ser que se produzcan las tres siguientes circunstancias:
 - Que la despolarización de la raíz nerviosa proximal provoque mejor contracción que la directa sobre el músculo.
 - Que los pulsos sean muy cortos y selectivos sobre el nervio.
 - Que el punto motor muscular se localice en sentido proximal.

Toda aplicación que cumpla de manera simultánea las tres pautas ofrecerá buenos resultados y éstos se reforzarán entre sí. Sin embargo, el hecho de que en ciertas aplicaciones alguna de las tres pautas se invierta restará eficacia a los resultados con respuestas más difíciles. Esta norma general suele romperse cuando se tratan denervaciones (v. cap. 10).

Aplicación manual

Las aplicaciones manuales normalmente entran dentro del grupo de la monopolar, por-

que suelen realizarse con el electrodo manual (Fig. 3-17), con el cabezal de ultrasonidos o con guantes conductores. En caso de guantes conductores, la variabilidad es dinámica al mover las manos libremente, convirtiéndose en una potente herramienta de electroterapia junto con terapia manual (sobre todo para relajación y analgesia).

Aplicación multipolar

Cada vez se emplea más la modalidad bipolar múltiple de varios circuitos o canales en distintos músculos de grupos musculares con sinergia, sobre todo cuando se buscan efectos de potenciación y, a la vez, se intenta disponer de estimuladores de varias salidas con controles de intensidad independientes (Fig. 3-23). Sin embargo, este sistema es complejo de manejar, lento de colocar y en él es difícil reequilibrar intensidades; si éstas son altas, se pueden generar daños y desgarros musculares; necesita cierta experiencia para su aplicación con corrección y eficacia.

Aplicación tripolar

Es una modalidad que se utiliza cuando, en una aplicación con dos canales, dos electrodos se juntan en uno común o indiferente y los otros dos se fijan en puntos motores independientes. En otras ocasiones, un polo de los dos electrodos de un canal se bifurca para aplicar la misma polaridad en lugares diferentes. Hace un tiempo también existía un equipo de corrientes interferenciales con tres electrodos.

PROTOCOLO PARA APLICAR ELECTROTERAPIA

En general, en las aplicaciones de electroterapia (galvanismo, baja frecuencia, media frecuencia, alta frecuencia y otras variantes, como láser o ultrasonidos) se debe seguir un protocolo de actuación que, en algún punto

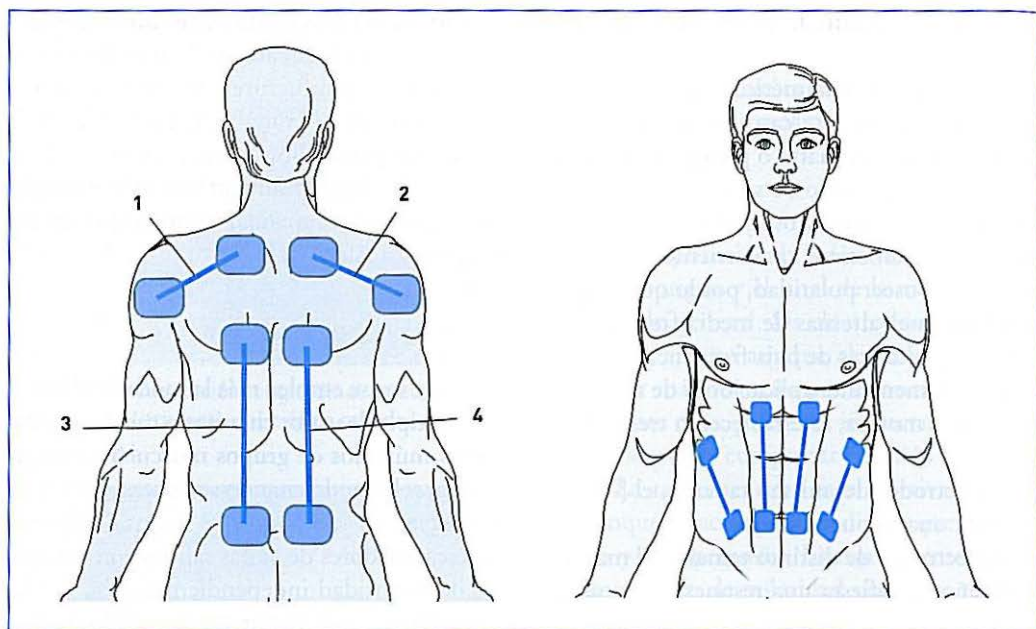


Figura 3-23. Dos ejemplos de aplicaciones multipolares: cada circuito con sus dos electrodos y su ajuste de intensidad independiente.

de los marcados, se puede ignorar o, tal vez, haya que añadir nuevos puntos para adaptarse a las necesidades y requerimientos de cada paciente y corriente usada.

El protocolo es el siguiente:

1. Marcarse en la mente el objetivo que debe conseguirse.
2. Establecer (al menos en teoría) la mejor técnica posible para alcanzarlo.
3. Colocar al paciente de forma adecuada según la técnica decidida.
4. Cuidar y vigilar las posibles derivaciones eléctricas entre el paciente y tierra, u otros aparatos eléctricos próximos.
5. Descubrir la zona tratada, pero evitar compresiones o estrangulamientos con las prendas de vestir replegadas.
6. Explicar al paciente lo proyectado y advertirle de las sensaciones para evitar dolores o molestias.
7. Disponer y preparar los electrodos adecuados.
8. Disponer o programar el equipo de acuerdo con lo proyectado.
9. Fijar y aplicar los electrodos de manera adecuada.
10. Subir la intensidad o la potencia adecuada y lentamente.
11. Palpar, observar, preguntar y comprobar sobre la respuesta deseada y si se cumple el objetivo proyectado.
12. (Si es necesario) buscar mejores respuestas mediante la variación de los parámetros de la corriente.
13. Evitar molestias o dolores al paciente y posibles riesgos de quemadura.
14. Si la aplicación no cumple los objetivos, es fallida y no se debe practicar.
15. Marcar el tiempo de la sesión.
16. Estar pendiente de la evolución a lo largo de la sesión y comentar al paciente que debe avisar si nota sensaciones extrañas o molestias.
17. Desconectar de forma lenta y preguntar al paciente sobre la evolución de la sesión.

18. Tener en cuenta la evolución y los datos aportados por la observación directa y los comentarios del paciente.
19. Tomar notas de los cambios, incidencias y variaciones en la evolución o en los parámetros de la corriente.
20. Retirar el tratamiento al conseguir los objetivos marcados.

CONSIDERACIONES PARA EVITAR QUEMADURAS EN LOS PACIENTES

A lo largo de la obra se insiste en las medidas que es necesario establecer para evitar quemaduras en los pacientes y se detallan, pero, a modo de concreción, deberán tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

- Considerar el tipo de corriente que se va a aplicar. Las corrientes alternas o bifásicas no requieren tantos cuidados como las galvánicas interrumpidas.
- Saber si el equipo trabaja en voltaje constante (VC) o en corriente constante (CC). Cuando se usan corrientes galvánicas interrumpidas, debe activarse el modo CC.
- Examinar el estado de la piel en que se van a fijar los electrodos. Buscar siempre una porción de piel sana y sin lesiones, exoriaciones, cicatrices, granos, signos de depilación reciente, etcétera.
- Comprobar que los electrodos que se van a utilizar se encuentran en correcto estado, tanto en el elemento conductor como en la esponjilla o adhesivo de contacto.
- Comprobar la correcta fijación de los electrodos. El cinchado o adhesión de los electrodos no debe ser ni excesivo ni muy flojo; tampoco debe quedar muy prieto en una zona y sin contacto en otra.
- Hallar el porcentaje del componente galvánico de la corriente que se va a utilizar siempre que se apliquen corrientes galvánicas interrumpidas con importante efecto

galvánico (v. «Quemaduras con corrientes galvánicas interrumpidas», en el cap. 5).

- Medir la superficie tratada. En caso de usar electrodos de contacto, medir la esponjilla del electrodo pequeño.
- Calcular la intensidad máxima de seguridad que debe aplicarse al paciente (v. «Quemaduras con corrientes galvánicas interrumpidas», en el cap. 5).
- Ajustar la potencia adecuada: aplicable en ultrasonidos, microonda, onda corta, infrarrojos, láser, galvanismo, etcétera.
- Dosificar de forma correcta: una dosis escasa no alcanza las respuestas terapéuticas, pero la dosis excesiva daña los tejidos tratados.

PUNTOS MOTORES MONOPOLARES NERVIOSOS Y MUSCULARES

A fin de conseguir la mejor respuesta de contracción para exploración o tratamiento, tenemos que buscar (con un electrodo puntual; Fig. 3-14) sobre la zona que se considere lógica, la cual coincide con el punto o placa de inervación. De modo circunstancial, debido a cambios en la impedancia o resistencia de los tejidos, cada paciente responde en distintos lugares de la localización, por lo que se está obligado a buscar siempre el mejor punto para cada caso.

No es adecuado pensar que cada músculo posee un único punto motor, pues en ocasiones son varios. Además, cada grupo de fascículos responde por separado con relación a otros fascículos cercanos siempre que el electrodo se sitúe sobre los deseados. A la hora de explorar o de tratar, se deberá hacerlo sobre zonas determinadas del músculo en lugar de cubrir todo el músculo. Por ello se vuelve a reiterar la necesidad de localizar puntos precisos y concretos.

Si se está en zonas donde los músculos son pequeños y el electrodo grande, por lo general responderán varios músculos o el grupo muscular. En caso de buscar respuesta aislada,

se necesitará un electrodo puntual o muy pequeño, además de localización precisa de su mejor punto motor.

El electrodo pequeño es más selectivo y preciso para un único músculo. El grande se soporta mejor y consigue mayor eficacia en el trabajo, pero es muy difuso, incluso puede desencadenar la respuesta de los antagonistas.

Frente a situaciones de denervaciones graves, conviene que los electrodos sean grandes a causa de las importantes intensidades requeridas. Si se utilizan electrodos pequeños con intensidades muy altas, podrían generarse alteraciones o quemaduras en la piel.

Ya se ha explicado con anterioridad que el electrodo activo debe ser el [-], pero conviene acostumbrarse a comparar y probar niveles de respuesta con un cambio de polaridad, pues en ocasiones se consigue mejor respuesta cuando se estimula el plexo o nervio que cuando se aplica de forma directa sobre el músculo. En general se observa que, en la mayoría de casos, el activo será el [-], a la vez que en sentido distal.

Es importante disponer de material para construir sobre la marcha electrodos (Fig. 3-15), pues puede necesitarse un electrodo alargado, muy pequeños o de contorno especial, etc. Es necesario trabajar siempre sobre la realidad de cada caso y huir de los protocolos demasiado estandarizados, pues éstos contribuirán, poco a poco, al olvido de las mejores formas y técnicas.

En la figura 3-24 se presentan los puntos motores de la cara posterior del miembro superior, donde destacan dos puntos nerviosos que pueden ser utilizados como puntos motores activos para contraer todos los músculos inervados por el cubital en el codo y por el radial en la zona posteroexterior de la muñeca. Asimismo, estos puntos nerviosos serán la referencia como zona de colocación del electrodo masa y el activo más pequeño en los distintos puntos motores musculares, en sentido distal al electrodo masa o indiferentes.

Si los músculos del antebrazo se pretenden trabajar con un electrodo masa en el origen del

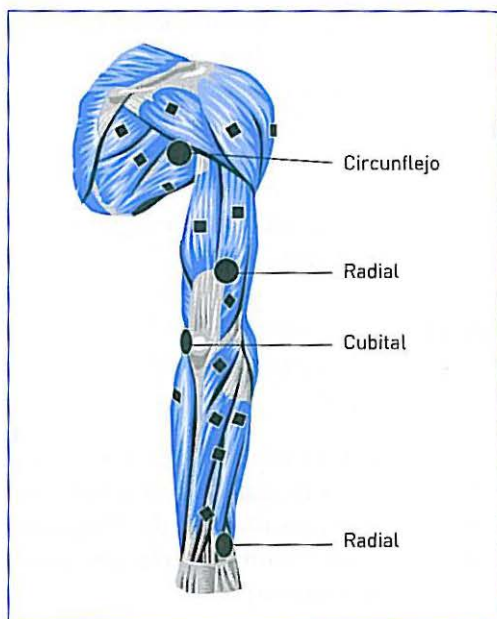


Figura 3-24. Puntos motores musculares y nerviosos de la cara posterior del hombro y del brazo.

plexo y el activo en el correspondiente punto motor, en general también responden los del brazo por implicar en el estímulo eléctrico a todo el plexo. Para evitarlo, el electrodo masa debe situarse en el codo. La forma de trabajo más frecuente en el antebrazo es la bipolar (Fig. 3-25) al situar un electrodo en el extremo proximal del músculo y el otro en el extremo distal, por lo general, el [+] será proximal y el [-] distal.

Si la resistencia de los electrodos es baja, no tiene mayor importancia siempre que el equipo de aplicación trabaje en intensidad constante (CC). Sin embargo, si el electrodo muestra una pequeña zona de menor resistencia con relación al resto, habrá peligro de provocar quemadura en el punto concreto de la zona dañada del electrodo o por mal apoyo de éste aunque se esté trabajando en intensidad constante.

Las corrientes interferenciales y las de media frecuencia, en general, trabajan en tensión constante (VC). No obstante, es conveniente tomar las debidas precauciones a pesar del poco

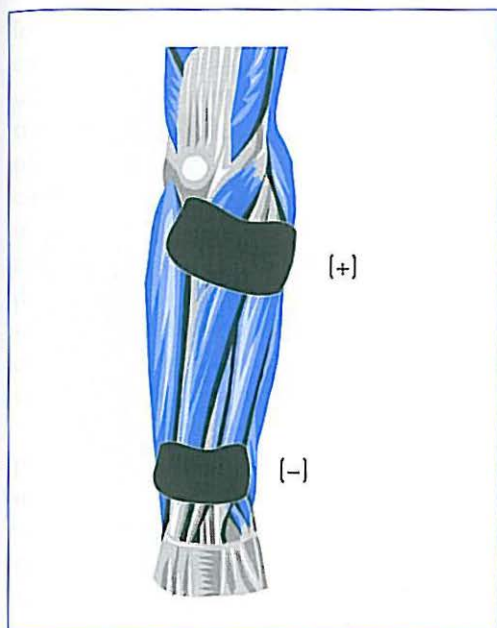


Figura 3-25. Aplicación bipolar en los extensores de la muñeca.

riesgo de estas corrientes, pues, si coincide un electrodo pequeño con mucha intensidad, también puede aparecer quemadura no galvánica.

En las figuras anatómicas, las superficies negras cuadradas representan los puntos motores musculares, mientras que los círculos reflejan algunos puntos motores nerviosos.

El tríceps presenta varias zonas de respuesta aunque es más interesante enfocar este músculo como zona de estimulación selectiva de los distintos fascículos en lugar de estimular un único y mejor punto motor.

En las figuras 3-24 y 3-26 aparecen dibujados varios puntos motores musculares de la cara posterior en la cintura escapular junto con el punto nervioso del circunflejo, que es fundamental conocerlo en las denervaciones del plexo braquial.

Pueden apreciarse los lugares aproximados de mejor respuesta motora de los tres fascículos del trapecio. El deltoides también se mani-

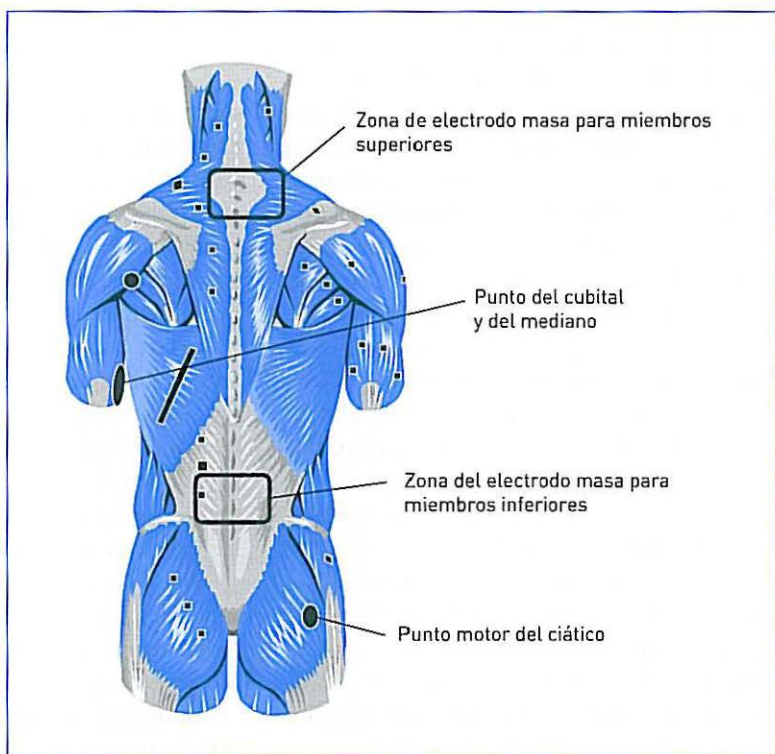


Figura 3-26. Zonas de fijación del electrodo masa en miembros superiores y en miembros inferiores. Se presentan también algunos puntos del tronco posterior.

fiesta como tres músculos distintos (anterior, medio y posterior). El dorsal ancho normalmente necesita un electrodo amplio a fin de conseguir la respuesta del mayor número posible de fibras, así como el redondo mayor, el infraespinoso y el supraespinoso.

En algunos puntos, como el redondo menor, el subescapular y el coracobraquial, sus mejores zonas de respuesta se localizan en el interior de la axila.

La figura 3-26 muestra algunos puntos motores musculares, donde resaltan las amplias zonas de respuesta para conseguir contracción del dorsal ancho y el glúteo mayor. Además, se dibujan dos puntos motores nerviosos: uno en la cara interna del brazo, que estimulará todo el paquete nervioso, menos el radial, y el otro sobre la escotadura ciática para provocar respuesta del nervio que le da nombre.

Si el electrodo del punto nervioso localizado en la cara interna del brazo es pequeño y se desplaza a la búsqueda de selectividad entre el mediano y el cubital, se conseguirá el mejor punto para uno u otro. Sin embargo, esta zona, aunque útil, suele resultar molesta para el paciente.

Estas zonas servirán, asimismo, para la fijación del electrodo grande y proximal que actuará como masa y, de manera puntual, para estimular los distintos músculos inervados por los nervios en cuestión. Utilizar la zona abdominal como lugar de fijación para el electrodo masa es un buen recurso en situaciones en que habrá dificultades para situar el referido electrodo en la espalda, por ejemplo, en pacientes encamados sin posibilidades de movilidad.

En las figuras 3-26 y 3-27 pueden apreciarse los puntos del cuello, una zona interesante para la electroterapia, sobre todo enfocada según el punto de vista de la analgesia. Las respuestas motoras serán más factibles con pequeños electrodos y método bipolar en lugar de monopolar. Dada la cercanía de importantes centros nerviosos (sensitivos, motores y neurovegetativos), deben cuidarse las técnicas aplicadas para no causar más perjuicios que beneficios.

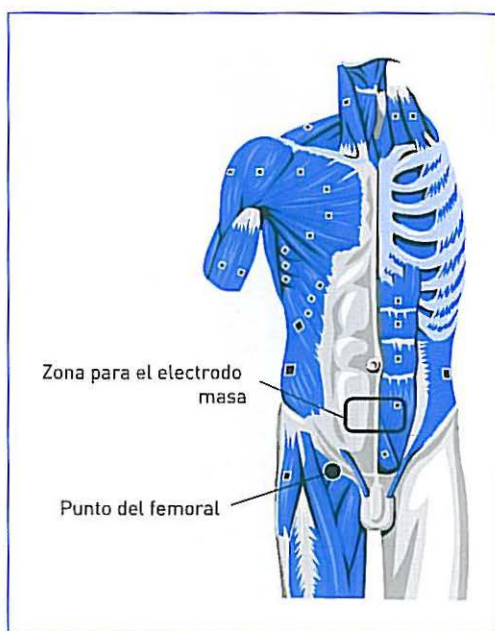


Figura 3-27. Zona de fijación del electrodo masa en cualquier punto corporal. Se presentan también el punto motor nervioso del crural y algunos puntos del tronco anterior.

Con frecuencia, los efectos motores buscados en el cuello no se destinan a la potenciación muscular. Se diseñarán para luchar contra las contracturas, para la mejora de la circulación de líquidos intramusculares y extramusculares, y para movilizaciones vertebrales repetitivas con la finalidad de liberarlas de malposiciones.

En este caso puede apreciarse (Fig. 3-26) una amplia zona que estimulará las raíces nerviosas del plexo cervicobraquial; por lo tanto, al electrostimular dicha zona, se apreciarán respuestas motoras en los músculos del brazo. Lógicamente, esta localización se tomará como buena para el electrodo masa.

Dentro de la axila también existen buenas zonas de estimulación muscular, pero se procederá con las debidas precauciones en cuanto a la sensibilidad e irritabilidad de la piel.

En ocasiones, cuando se está practicando una electroestimulación motora en los múscu-

los del brazo y el electrodo masa [+] se halla en el origen del plexo, puede observarse que un cambio de polaridad consigue mejor contracción. Ello es así porque la estimulación del plexo con el [-] es más eficaz que la estimulación directa del músculo, lo cual sirve para llamar la atención de nuevo acerca de la importancia que tiene el hecho de intentar cambios de polaridad sobre la marcha del tratamiento, sobre todo si está implicado el nervio aunque, cuando el [-] es proximal, suelen responder varios músculos y se pierde selectividad.

El punto del femoral se utiliza cada vez más porque éste provoca la contracción completa y homogénea del cuádriceps en lugar de hacerlo con varias aplicaciones bipolares simultáneas o sobre parte del músculo (Fig. 3-27). El desarrollo de técnicas para este punto ha conducido a utilizar corrientes con bajo efecto de molestia sensitiva y buena respuesta motora. Es muy llamativa la contracción de «todo el cuádriceps», pero, si la aplicación implica movimiento del paciente o deportista, el punto se pierde con facilidad.

Los oblicuos del abdomen necesitan grandes electrodos. La estimulación de los rectos anteriores del abdomen necesita varios puntos porque están segmentados.

Es interesante la estimulación del piramidal del abdomen, pues desencadena la propiocep-

ción para las basculaciones de pelvis en personas, a las cuales les resulta difícil entender y realizar la maniobra (Fig. 3-23).

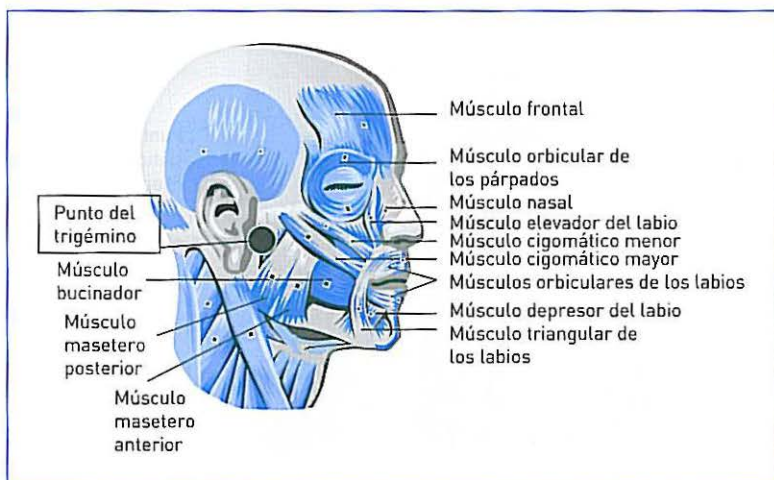
La figura 3-28 presenta los principales músculos del rostro y sus puntos motores más importantes.

La electroestimulación de la musculatura en la cara, cuando ésta sufre parálisis faciales, con seguridad es uno de los tratamientos más adecuados, pero requiere experiencia por parte del fisioterapeuta y dedicación manual durante 20 o 30 minutos por sesión, con el desplazamiento del electrodo puntual (v. Fig. 3-14) de punto en punto para conseguir el trabajo deseado en cada músculo.

El círculo dibujado anterior al trago de la oreja es el punto nervioso del trigémino, que puede ser usado como activo para estimular toda la musculatura inervada o como zona de colocación del electrodo masa para las aplicaciones puntuales y selectivas en cada músculo.

Cuando se estimula un nervio en su mejor punto motor, éste envía estímulos eferentes por todas sus ramificaciones. Sin embargo, si una de sus raíces se encuentra afectada, no trasladará la orden de contracción a la musculatura interesada por dicha raíz. Esto obliga a practicar estímulos selectivos, sobre todo, sobre los más afectados. Si el nervio se manifiesta

Figura 3-28. Punto motor del trigémino y puntos más frecuentes de la musculatura facial.



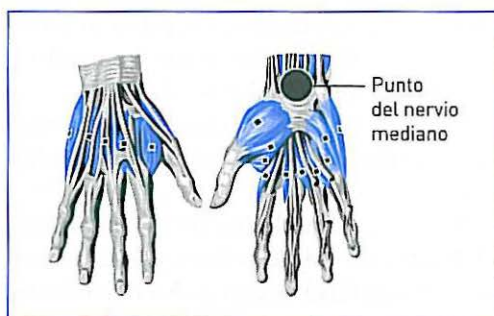


Figura 3-29. Punto motor del nervio mediano y puntos motores musculares de la mano.

intacto en todo su recorrido, será buena la estimulación en el punto nervioso, pero es más frecuente lo contrario.

En la figura 3-29 se marcan los diversos puntos motores de la musculatura intrínseca de la mano, la cual habrá que explorar en multitud de ocasiones y tratar con electroestimulación cuando padece denervaciones.

Si se coloca el electrodo de referencia o masa por encima del antebrazo, con frecuencia aparecerá la musculatura extrínseca sin desearlo. Para evitar esta circunstancia, debe fijarse el electrodo masa en la muñeca y aplicar otro, pequeño y exacto, como activo sobre los mejores puntos de cada músculo.

La electroestimulación de la mano requiere aplicación manual y detenida, mediante el

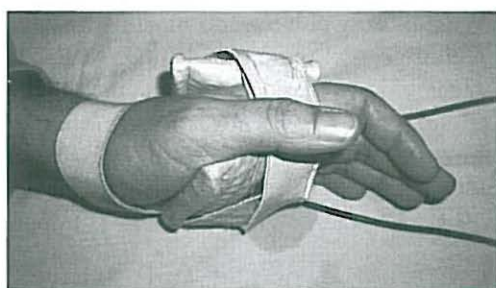


Figura 3-30. Aplicación contralateral en la musculatura intrínseca de la mano, útil en las parálisis periféricas.

electrodo puntual, para recorrer los distintos músculos durante la sesión, si en realidad se desea practicar un tratamiento adecuado.

Cuando no se esté frente a denervaciones y la musculatura se manifieste intacta, pero se desee potencia, será mejor situar los electrodos en los puntos motores nerviosos con el fin de contraer la mano de forma global.

Si se pretende estimular la musculatura intrínseca de la mano (oponentes, lumbricales, interóseos o flexores cortos), puede realizarse una aplicación contralateral al situar un electrodo en el dorso y otro en la palma, y esperar la contracción global de todos (Fig. 3-30) o respuesta selectiva de los denervados en caso de parálisis.

La figura 3-31 muestra el cuádriceps y sus puntos de aplicación de los electrodos más

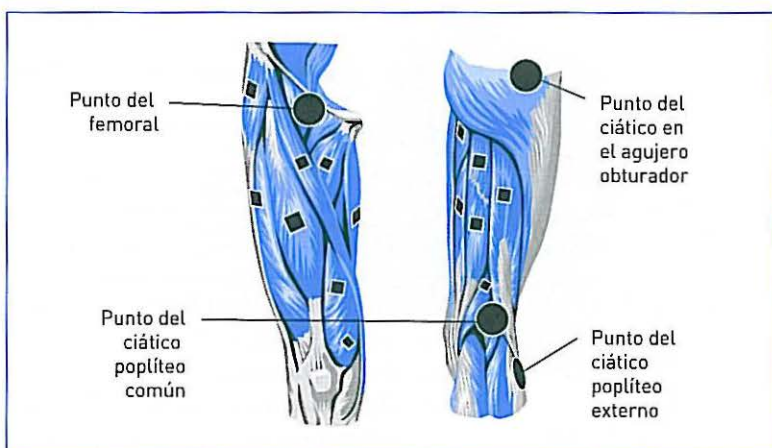


Figura 3-31. Puntos motores nerviosos y musculares más importantes del muslo.

probables. Este músculo tal vez sea el más electroestimulado, lo que ha conducido a diseñar técnicas específicas para él.

Cuando el cuádriceps no se encuentre bajo efectos de denervación, la mejor forma de conseguir su contracción y más homogénea es colocar el electrodo activo sobre el punto del nervio femoral mientras que el electrodo masa se sitúa sobre la zona lumbar o abdomen, aunque es poco práctico.

Las aplicaciones bipolares múltiples (Fig. 3-32) requieren regulaciones bien conjuntadas de intensidad en todos los canales, para evitar posibles desgarros o dilaceraciones musculares.

Otra forma consiste en aplicar dos electrodos grandes en sentido contralateral y oblicuo para que el campo eléctrico invada el mayor número de fibras posible (Fig. 3-33). Sin embargo, el campo eléctrico o corriente aplicada en este caso tiene propiedades distintas a los trenes formados con impulsos derivados de las corrientes galvánicas interrumpidas. Son corrientes de media frecuencia moduladas en baja frecuencia, con pulsos modulados en forma cuadrangular para evitar molestias en la piel, penetran mucho y consiguen gran poder de contracción: son las corrientes de Kots.

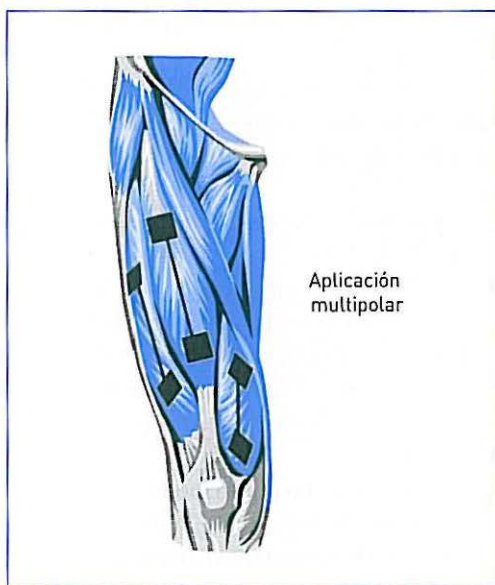


Figura 3-32. Estimulación del cuádriceps en aplicación multipolar con tres circuitos.

3

También en la figura 3-31 se señalan los puntos motores musculares y nerviosos en la cara posterior de los miembros inferiores. Resaltan, como puntos motores nerviosos, el correspondiente al ciático poplíteo común, ligeramente por encima del rombo poplíteo y el punto del ciático poplíteo externo en una lo-

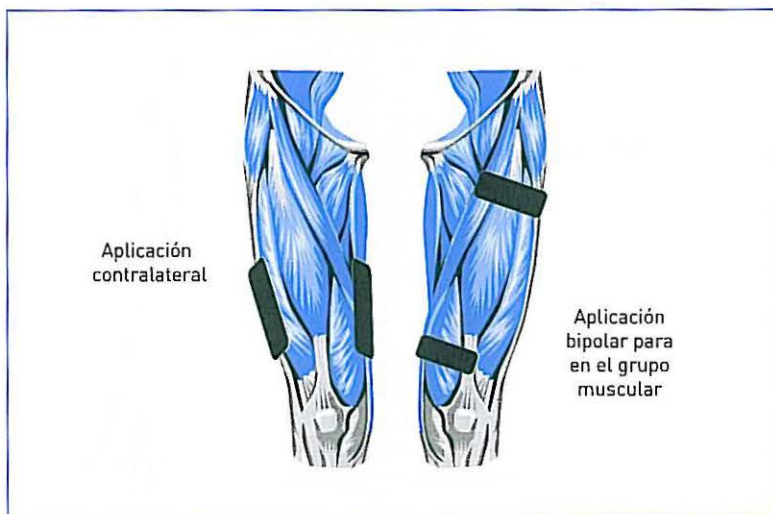


Figura 3-33. Estimulación del cuádriceps en aplicación contralateral (poco frecuente) y en aplicación bipolar (la más habitual).

calización posterior a la cabeza del peroné (v. Fig. 3-14 A).

Para conseguir buenas respuestas de los grandes músculos isquiotibiales o del tríceps, pueden utilizarse varios métodos:

- Bipolar de un músculo o de un vasto de los polifasciculares.
- Monopolar en un punto motor muscular sobre el músculo o fascículo deseado.
- Bipolar múltiple, tras buscar respuesta de grandes masas o varios vastos de manera simultánea (cada cual con su correspondiente intensidad).
- Monopolar en un punto motor nervioso que conseguirá la respuesta de todos los músculos inervados por el nervio estimulado.

La musculatura de los isquiotibiales y tríceps sural requiere ciertas precauciones a la hora de contraerla con electroestimulación, pues el trabajo descontrolado, sin resistencia al esfuerzo muscular o con intensidades altas, generará con facilidad calambres musculares, lesiones y tetanizaciones muy desagradables para el paciente.



Práctica experimental



Vídeo 3-2. Puntos motores del cuádriceps

Debe prepararse un electrodo grande y el puntual. El electrodo grande debe fijarse en la zona lumbosacra. El puntual debe conectarse a la salida [-]; el masa, al [+]. Deben ajustarse en el equipo los pulsos monofásicos cuadrangulares entre 5 y 10 ms, separados de 2 a 3 s (pulsos aislados). Hay que activar el sonido para escuchar la corriente.

Preparar un lápiz grueso para dibujar sobre la piel. Debe situarse el puntual (sin moverlo hasta obtener respuesta) sobre los puntos motores del cuádriceps, guiado por el mapa de puntos motores musculares.

Hay que elevar la intensidad hasta provocar una pequeña contracción muscular. En ese punto debe detenerse la subida de intensidad y desplazar el electrodo puntual (entre pulso y pulso) por la zona hasta localizar el mejor lugar de contracción con la misma intensidad.

Se marca con el lápiz grueso donde se haya localizado la mejor respuesta y repetir la maniobra sobre otros puntos hasta ir localizando varios.

Se están buscando puntos motores musculares del cuádriceps. Cada punto puede responder con su intensidad específica.

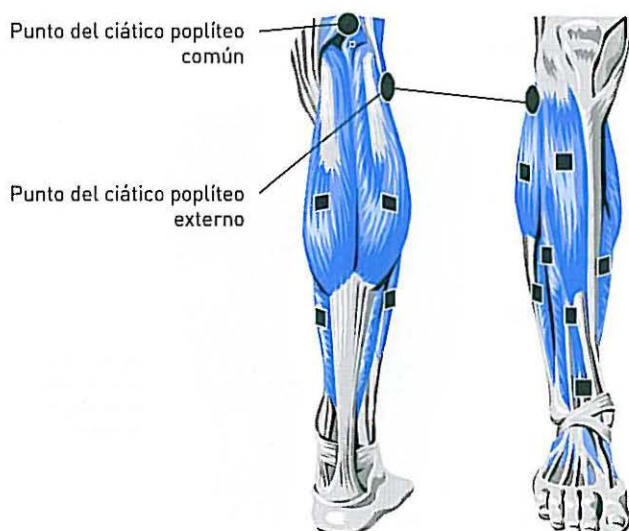


Figura 3-34. Puntos motores de la pierna. El punto nervioso del ciático poplíteo externo es muy importante.

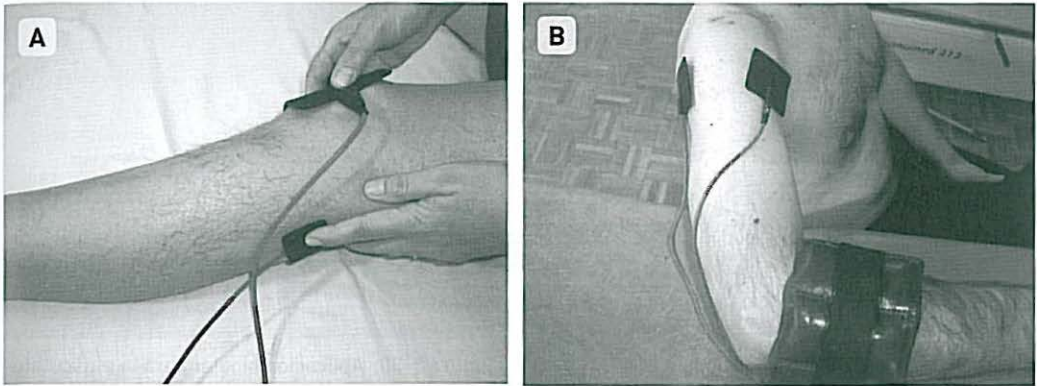


Figura 3-35. A) Aplicación monopolar de electrodos sobre el ciático poplíteo externo con masa sobre el cóndilo interno. B) Aplicación contralateral del deltoides para el fortalecimiento muscular.

Otra parte corporal a la cual se aplica con frecuencia electroestimulación es la cara anterior y lateral de la pierna (Fig. 3-34) debido a las frecuentes parálisis o denervaciones del nervio ciático (habitualmente del ciático poplíteo externo) y se estará obligado a explorar y tratar los distintos músculos afectados.

Es fundamental tener presente el punto nervioso del ciático poplíteo externo para estimular el conjunto de músculos inervados por él o usarlo como punto de referencia o masa.

Resulta muy práctica una aplicación aparentemente contralateral, pero en realidad es monopolar, para estimular el punto nervioso del ciático poplíteo externo. Un electrodo amplio trabaja como indiferente sobre el cóndilo interno y otro pequeño como monopolar sobre el punto del ciático poplíteo externo. Dado que el electrodo indiferente no se sitúa sobre masas musculares ni otros puntos nerviosos no habrá respuesta en su zona, aunque la habrá en el punto del ciático poplíteo externo (Fig. 3-35 A).

Otra aplicación interesante es la estimulación contralateral del deltoides, pues la estimulación longitudinal de éste provocaría respuestas diferentes en las fibras anteriores, medias y posteriores en función de su situación. Si se estimula de forma transversal, se conseguirá una respuesta homogénea de los tres fascículos aunque, por lo general, se re-

quiere que el [-] se sitúe en las fibras posteriores. En consecuencia, estas aplicaciones son prácticas y útiles (Fig. 3-35 B).

Llama la atención el punto motor del tibial anterior por hallarse bastante cerca de su origen (Fig. 3-36). El punto del extensor del primer dedo puede ser difícil de localizar; por

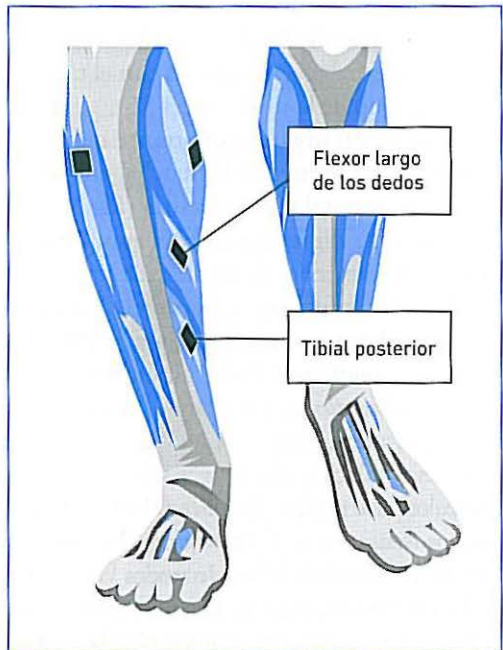


Figura 3-36. Puntos motores de la cara anterior e interna de la pierna.



Figura 3-37. Puntos motores de la cara dorsal del pie.

norma general se encuentra en la cara anterior de la pierna e inmediatamente por encima del tobillo (Fig. 3-37), pero, a veces, se está obligado a buscarlo en un sentido más distal, siguiendo el trayecto del tendón.

Cuando se necesita estimular los gemelos es muy fácil, pero si se busca el trabajo de los flexores profundos, como el tibial posterior y los flexores de los dedos, sus puntos se localizan en el tercio medio de la cara interna en la pierna y tras haber sobrepasado con el tacto el borde interno de la tibia (Fig. 3-36).

El pie es un órgano importante del organismo porque influye en la marcha, en la biomecánica corporal y en la estática (Fig. 3-37).

Puesto que el pie se encuentra comprimido por el calzado, con cierta frecuencia pierde muchas de sus funciones, por lo cual algunos músculos dejan su trabajo y función para degenerar y conducir a problemas como *hallux valgus*, *hallux flexus*, pie plano, pie cavo, pie valgo o varo, etcétera.

La estimulación eléctrica y selectiva de los músculos poco tróficos y los arcos plantares ofrece buenos resultados si se saben elegir los mejores puntos de ubicación de los electrodos y el diseño de las corrientes correctas. Los tratamientos del *hallux valgus* (juanete) que contemplan la estimulación del separador del primer dedo (Fig. 3-37) ofrecen muy buen resultado (v. Fig. 3-10 A).



Figura 3-38. Aplicación bipolar para la musculatura intrínseca de la planta del pie. Es muy útil en los procesos de osteoporosis del pie.

Es muy interesante la aplicación bipolar de sendos electrodos en la planta del pie, en sentido longitudinal, cuando el pie sufre problemas traumatológicos y osteoporóticos (el paciente pisa o coloca el pie sobre los electrodos; Fig. 3-38). Al aplicar trenes de varios segundos (de 3 a 10 s) y pausas de igual duración, los trenes se compondrán con impulsos cuadrangulares que mantengan polaridad galvánica [+] proximal y [-] distal, pero en este tratamiento es fundamental que las esponjillas de los electrodos se empapen en suero fisiológico.

Resumen de puntos motores nerviosos

En la figura 3-39 se presentan los puntos motores nerviosos.

Resumen de puntos motores musculares

En la figura 3-40 se presentan los puntos motores musculares.

USO DE ELECTRODOS ADHESIVOS O ELECTRODOS CON ESPONJILLA

Electrodos de gel adhesivo

Los electrodos adhesivos se han puesto muy de moda en los últimos años por su facilidad

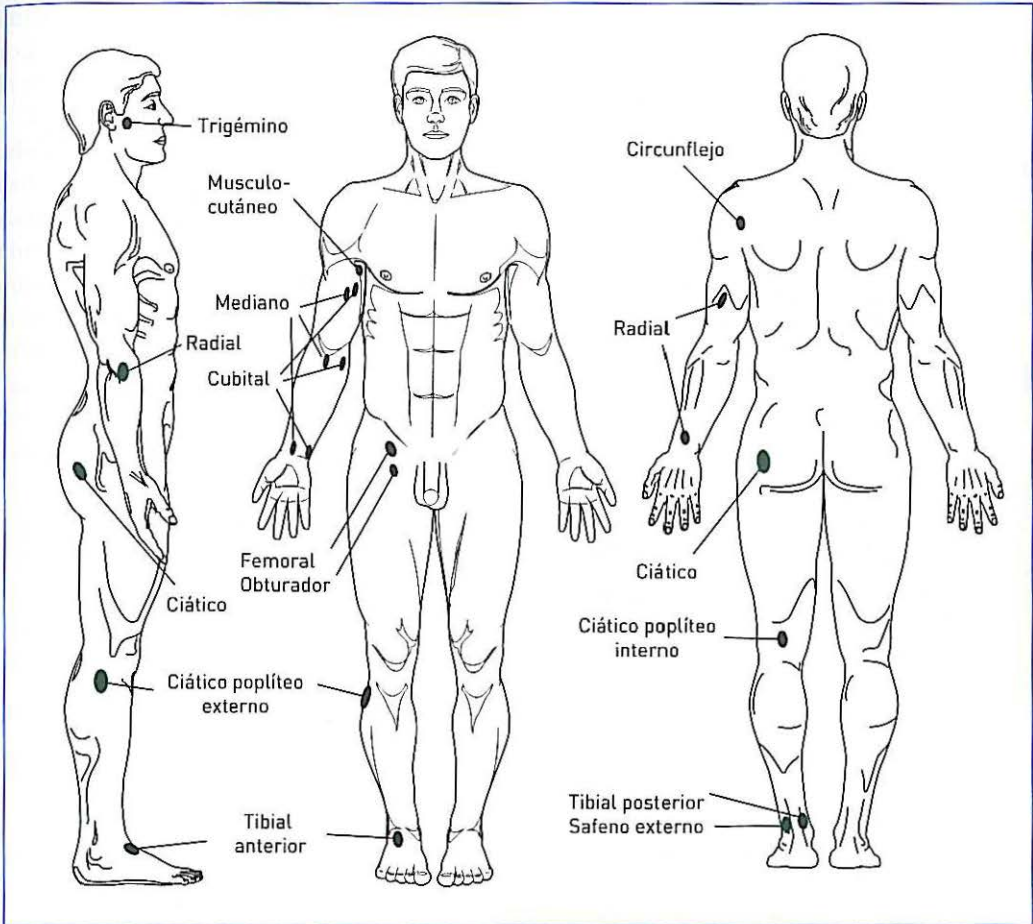


Figura 3-39. Puntos motores nerviosos.

de uso y su rapidez en la fijación, pero presentan inconvenientes económicos, de uso práctico y terapéuticos.

Los electrodos adhesivos pueden ser útiles para aplicaciones de corrientes en que se pretende un estímulo sensitivo (Fig. 3-41 A), pero no son adecuados para buscar puntos motores nerviosos o puntos motores musculares (acercamiento a la masa muscular) por la simple razón de que con los electrodos debe intentarse la máxima proximidad al objetivo tras aplastar o apartar el tejido celular subcutáneo. En caso de usar electrodos adhesivos para respuesta motora, deben fijarse y hundirse con una cincha elástica de fijación, e interponer una es-

ponjilla seca entre el electrodo y la banda de fijación. Así se conseguirá la profundidad necesaria para alcanzar el músculo (Fig. 3-41 B).

Los electrodos adhesivos en realidad están pensados para «usar y tirar» o para la aplicación personalizada de «pocas sesiones». Con el uso repetido pierden adherencia y el gel se va impregnando de residuos epidérmicos y de cremas. Cuando pierden adherencia, aumenta mucho la resistencia entre paciente y electrodo, y el aparato incluso puede indicar fallos de contacto (en CC) y las corrientes se vuelven molestas.

Cuando inician el deterioro y acumulan suciedad, no deben usarse en aplicaciones para

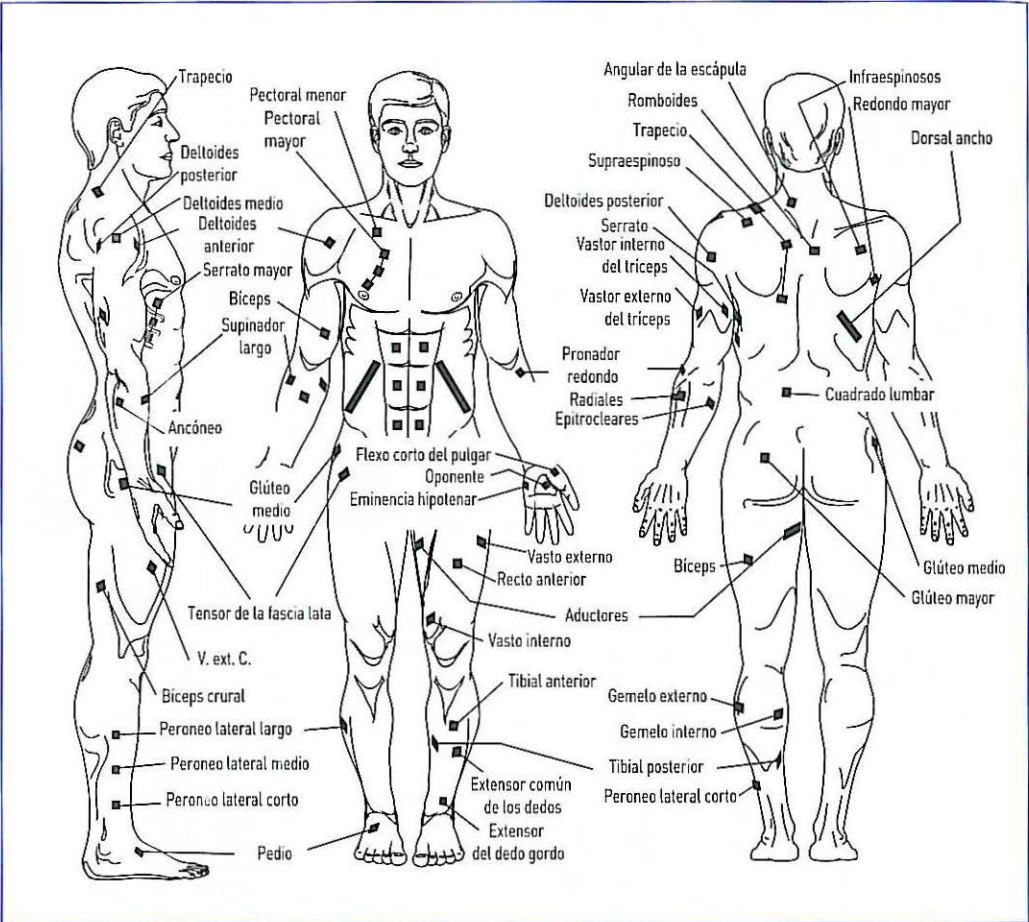


Figura 3-40. Puntos motores musculares.

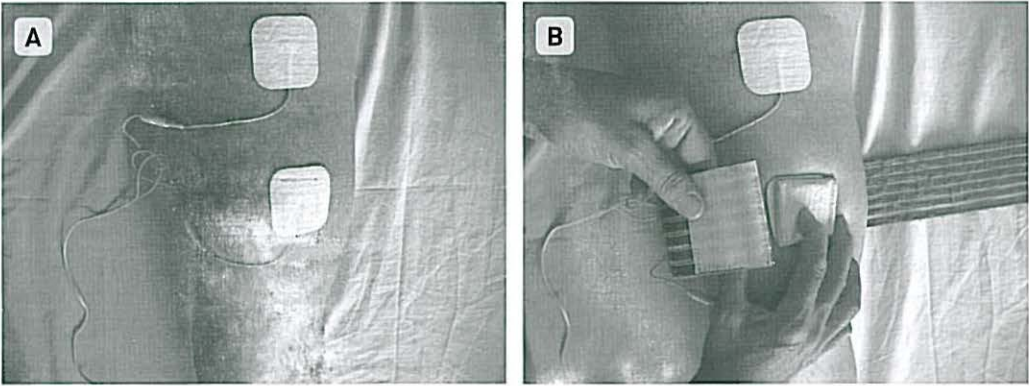


Figura 3-41. A) Electrodo adhesivo para filtrar el calor por la banda elástica con interposición de una esponjilla seca y la masa muscular. B) Se sobrepone una banda adhesiva para sellar más el electrodo y buscar proximidad a la masa muscular.

corrientes con componente galvánico, sobre todo por su posible efecto electroforético por la suciedad que acumulan.

Si estos electrodos se emplean de manera adecuada (sin intentar un aprovechamiento excesivo) son poco rentables por su coste. Además, a causa de la degeneración del gel tan rápida, los profesionales que los utilizan mucho, pronto los descartan. También, no es infrecuente que el propio paciente le «haga subir los colores» al fisioterapeuta cuando manifiesta desconfianza por aplicarle electrodos con un aspecto sucio y deteriorado, por intentar aprovechar su utilidad al máximo.



Vídeo 10-4. Tensiomiografía fijándose en los electrodos

Electrodos de goma conductora de aplicación directa

Otra opción son los electrodos no adhesivos, pero preparados para usos múltiples y para aplicarlos de forma directa sin esponjilla, aunque se debe intercalar gel para ultrasonidos a fin de garantizar un apoyo homogéneo. Estos requieren fijación, pero sujetarlos con bandas elásticas los desplaza debido a la viscosidad del gel. De esta manera, las bandas terminan

muy sucias e impregnadas de gel. En general se fijan con bandas de esparadrapo de papel anti-alérgico (sin escatimar en esparadrapo).

Esta fijación (no elástica) no ejerce presión y el electrodo queda en una posición superficial. Será útil para aplicar TENS con estímulo sensitivo, pero pierden eficacia y profundidad para respuestas motoras (Fig. 3-42 A). Si no se dispone de otra opción y se necesitan para aproximarlos a una placa motora, sobre el esparadrapo, se presiona con una banda elástica y se interpone una esponjilla seca entre la banda y el electrodo (Fig. 3-42 B).

Esta modalidad para aplicaciones con componente galvánico debe llevarse a cabo mediante la interposición de gasas estériles empapadas en agua corriente o suero fisiológico. Al finalizar la sesión, hay que dedicar un tiempo a la limpieza de la goma conductora para evitar efectos electroforéticos no deseados sobre el siguiente paciente (Fig. 3-43 A); asimismo, este tipo de electrodos permite el lavado periódico en profundidad.

Electrodos estándar

Por último, los electrodos estándar y con esponjillas humedecidas obligan a que se les fije con bandas elásticas y con presión suficiente para hundir y desplazar el tejido celular

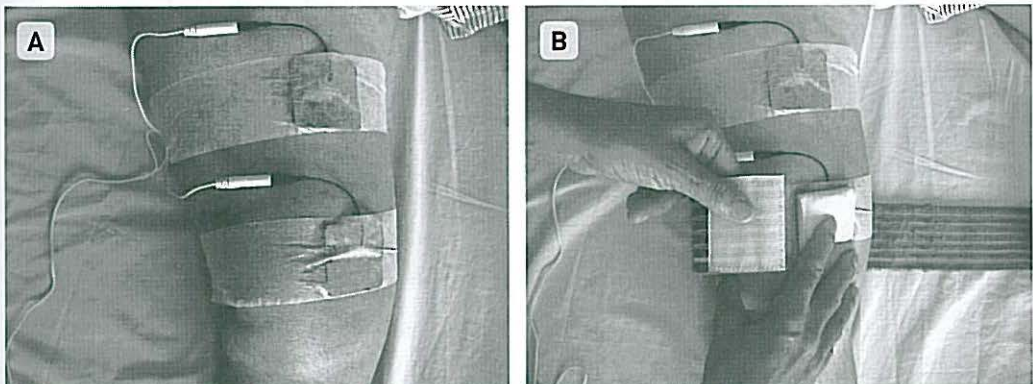


Figura 3-42. A) Los electrodos son de aplicación directa con interposición de gel para ultrasonidos y fijados con esparadrapo. B) Uno de los dos electrodos será sometido a hundimiento por la presión de la esponjilla seca y de la banda elástica.

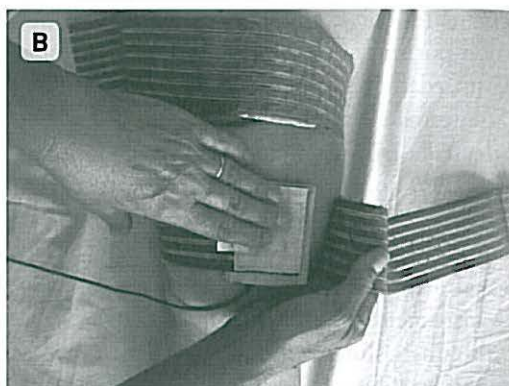
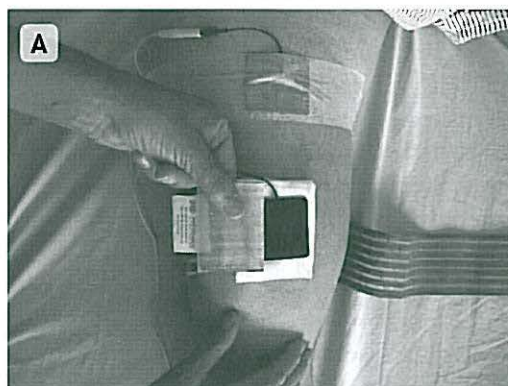


Figura 3-43. A) Al electrodo de aplicación directa se le interponen gasas empapadas. Ésta debe ser la forma de prepararlo en caso de que la corriente posea un componente galvánico. B) Fijación típica de electrodos envueltos en esponjilla humedecida. La presión de la banda garantiza un contacto bueno y profundo.

subcutáneo, acercarse a los nervios y a las placas motoras (Fig. 3-43 B).

No son tan rápidos de aplicar como los adhesivos, pero no se trata de rapidez o de las posibilidades de autoaplicación, se trata de alcanzar la respuesta terapéutica adecuada.

Las esponjillas requieren limpieza y renovación frecuente (circunstancias extensibles a todo tipo de electrodos). Sería ideal que cada paciente tuviera sus esponjillas personalizadas y adaptadas a su terapia. Por ello se recomienda el procedimiento descrito en la figura 3-15.

La humedad de los electrodos no puede ser escasa, será suficiente aunque no «chorreante» cuando los presiona la banda elástica. Las ban-

das se fijarán con firmeza, pero no deben impedir la circulación.

Si el contacto con los electrodos (con cualquier tipo) es débil, las corrientes pueden convertirse en molestas y peligrosas por riesgo de quemadura debido a la concentración del paso energético en unos puntos bajo el electrodo, mientras que por otros puntos no circulará la energía al faltar el contacto.

Con el tiempo, por el uso y por efectos electroforéticos sobre la goma del electrodo, se va acumulando y solidificando una capa de residuos que provoca un aumento de la resistencia al paso de la energía eléctrica y el estimulador indica fallo en los electrodos.

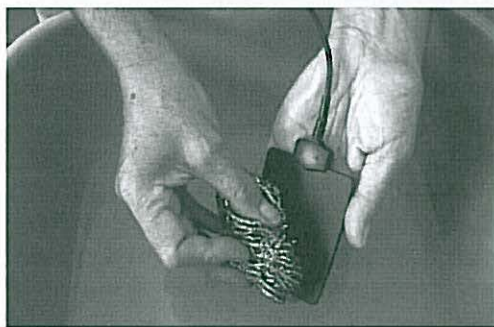


Figura 3-44. Limpieza de la superficie de un electrodo que comienza a presentar problemas de mala conductividad.

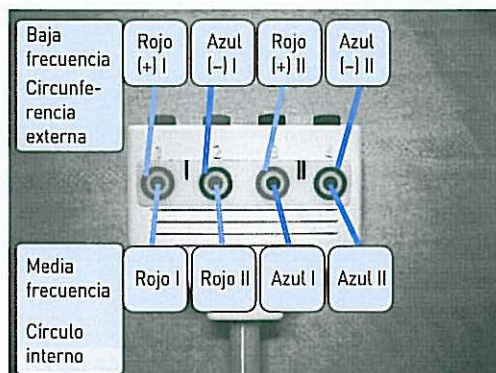


Figura 3-45. Terminal para conexión de electrodos de un estimulador de baja frecuencia y media frecuencia.

Tabla 3-3. Resumen de las técnicas más usadas en electroterapia

	BF	MF	RF	Luz	Frecuencia en Hz	Respuesta motora	Respuesta sensitiva	Analgesia	Componente galvánico	Mono-fásica	Bifásica	Alterna	Trenes	Frecuencia fija	Modulaciones	Aplicación intencionada	Colabora el paciente
Pulsos aislados	Sí				<1	Sí	Sí		Con pulsos largos, sí	Sí	¿Sí?			Sí		Sí y no	No y sí
Vibraciones musculares	Sí				De 1 a 6	Sí	Sí	Sí	¿No?	Sí	¿Sí?	¿Sí?		Sí	Sí		
Corriente galvánica	Sí				0 ¿?			Sí	100 %	Sí							
Corriente farádica	Sí				De 20 a 100	Sí	Sí	Sí	Poco	Sí	¿Sí?		Sí		¿...?	Sí y no	No y sí
Corriente de Trabert	Sí				142,8	¿Sí?	Sí	Sí	28,5 %	Sí				Sí			
Corriente de Leduc	Sí				90,9	¿Sí?	Sí	Sí	9 %	Sí	¿Sí?			Sí			
Corriente estocástica	Sí				Aleatoria	Sí	Sí	Sí	Poco	Sí					Sí		
Modulación cero		Sí			De 4.000 a 6.000		Sí	Sí				Sí		Sí		¿...?	
Modulación de Adams (FM)	Sí				De 7 a 14	¿Sí?	Sí	Sí	Poco	Sí	¿Sí?				Sí		
MF	Sí				50	¿...?	Sí	Sí	33 %	Sí				Sí			
DF	Sí				100	¿...?	Sí	Sí	66 %	Sí				Sí			
CP	Sí				50-100	¿...?	Sí	Sí	50 %	Sí					Sí		
LP	Sí				50-100	¿...?	Sí	Sí	40 %	Sí					Sí		
RS	Sí				50	Sí	Sí	Sí	16 %	Sí			Sí				
Alto voltaje	Sí				1-200	Sí	Sí	Sí	No/poco	¿?	Sí		Sí	Sí	Sí	Sí	No y sí
Burst	Sí				1-10 (2)	Sí	Sí	Sí	Poco	Sí y no	Sí y no			Sí	¿?		

Tabla 3-3. Resumen de las técnicas más usadas en electroterapia (cont.)

	BF	MF	RF	Luz	Frecuencia en Hz	Respuesta motora	Respuesta sensitiva	Analgesia	Componente galvánico	Mono-fásica	Bifásica	Alterna	Trenes	Frecuencia fija	Modulaciones	Aplicación intencionada	Colabora el paciente
Corriente de Kots	Sí	Sí			De 1 a 90 (2.500)	Sí	Sí	¿?	No			Sí	Sí	Según los equipos	¿?	Sí	Sí
Corrientes interferenciales tetrapolares		Sí			0-250 (4.000) (2.000-9.000)		¿...?	Sí	Sí	No			Sí	No	No y sí	Sí y no	
Corrientes interferenciales bipolares		Sí			0-250 (4.000) (2.000-9.000)	Sí	Sí	Sí	No			Sí	¿?	Sí y no	Sí y no		
Magnetoterapia	Sí	¿?	¿?		0-200 (0-100.000)		No	¿Calor?	Sí	¿Sí?	¿Sí?		Sí		Sí	Sí	
Onda corta			Sí		27 MHz	No	Calor	Sí	No			Sí		Sí	¿?		Sí
Microonda			Sí		2.450 MHz	No	Calor	Sí	No			Sí		Sí	¿?		Sí
Rayos infrarrojos				Sí	1.000 nm (λ)	No	Calor	Sí	No			Sí		Sí			Sí
Láser				Sí	650-1.100 nm (λ)	No	No o calor	Sí	No								Sí
Rayos ultravioleta (A)				Sí	340-400 nm (λ)	No	No										Sí

¿...?: la posibilidad existe, pero se tiene que evitar; ¿?: opción posible, pero no la habitual; Sí y no: es posible de ambas formas, pero predomina la primera; No y sí: es posible de ambas formas, pero es más habitual la primera. BF: ; CP: ; DF: ; FM: ; LP: ; MF: corriente monofásica física; RF: ; RS: .

Los ultrasonidos no pertenecen al espectro electromagnético

Una solución simple consiste en fregar el electrodo (sin detergentes) y raspar ambas caras con cuidado con un estropajo de aluminio (Fig. 3-44). Debe observarse que se mancha el agua al retirar y disolver la referida capa de la goma. Una vez que está limpio (y si el fallo no procede del cable o de conexiones), el electrodo volverá a conducir con normalidad. Lógicamente, esta operación deja de ser válida cuando la goma se ha degenerado por el uso excesivo (v. Fig. 2-25).

CÓDIGO DE COLORES

En electroterapia de baja frecuencia y media frecuencia se emplean códigos para la conexión de los electrodos:

- Si la corriente posee polaridad, el rojo se reserva para el [+] y el negro u otro color para el [-].

- Si la corriente es de media frecuencia (sin polaridad), el rojo se reserva para los dos cables de un canal y el negro u otro color para los dos cables del otro canal.

Así, en la figura 3-45, puede observarse un terminal de un estimulador al cual se le conectan los cables de los electrodos.

Los colores más habituales para el cátodo o [-] suelen ser negro, azul, gris, blanco, etc. Es raro que al ánodo o [+] se le atribuya otro color diferente al rojo.

TÉCNICAS MÁS USADAS EN ELECTROTERAPIA

En la tabla 3-3 se presenta un resumen sobre las técnicas más usadas en electroterapia.



Autoevaluación

Material complementario en el sitio web

- Autoevaluación
- Vídeos:
 - 3-1. Esponjillas
 - 3-2. Puntos motores del cuádriceps
 - 3-3. Tensiomiografía fijándose en los electrodos





4

Nomenclatura en electroterapia

Contenido

- Generalidades
- Baja frecuencia
- Media frecuencia
- Alta frecuencia o radiofrecuencia
- Ultrasonoterapia
- Infrarrojos
- Láser
- Magnetoterapia
- Biofeedback

Objetivos de aprendizaje

- Resumen de conceptos de la electroterapia bajo el punto de vista de la nomenclatura.
- Planteamiento de algunas polémicas con respecto a la superposición de siglas y conceptos erróneos.

Síntesis conceptual

- ✓ El estudiante encontrará en este capítulo una referencia rápida para aclarar polémicas y discusiones sobre nomenclatura en electroterapia. Aunque no está garantizado que encuentre todas las situaciones polémicas.
- ✓ El profesional encontrará temas controvertidos de nomenclatura concentrados en este capítulo.

No se trata de inventar nada nuevo ni de establecer cátedra. Simplemente se trata de usar la lógica y no alterar nombres y expresiones que ya están establecidos como correctos en la jerga de la electroterapia, de la física o de la electricidad.

Se plantea así por la diversidad de formas y maneras que encontramos en la literatura para nombrar y expresar el mismo fenómeno, corriente o circunstancia.

Es necesario establecer un lenguaje común en cuanto a la nomenclatura empleada en electroterapia. De manera muy sobresaliente se aprecian distintos lenguajes en los equipos, distintos métodos de expresión en la jerga, diferentes metodologías de ajuste, etcétera.

4 A continuación se intentará contribuir a aclarar expresiones (sin afán de crear un criterio infalible), pues cada uno puede usar la que le parezca más oportuna e, incluso, se puede continuar reinventando lo ya inventado. Sin embargo, es necesario establecer un lenguaje común y diáfano para evitar contradicciones y discusiones baladías. A pesar de que una expresión se repita mucho y esté muy extendida, ello no significa que sea correcta; así pues, no puede hablarse de intensidad cuando no lo es o usar como dosis parámetros que no corresponden u otros ejemplos semejantes.

Cada profesión genera su propia jerga y nomenclatura a la hora de referirse a las técnicas que emplea, pero la fisioterapia en concreto tiene mucho que ver con otras doctrinas, como la física o la electricidad. Esta situación provoca usos inadecuados de términos tomados de las anteriores que, por poco dominio de ellas, se emplean de forma inadecuada y confusa. En más de una ocasión, cuando un técnico que domina la física o la electricidad escucha o lee cuestiones que proceden de nuestra profesión, cuando menos «comenta de forma comprensiva» que lo que se afirma es erróneo o confuso.

GENERALIDADES

Sentido de la corriente

En la física se considera que la energía eléctrica (carga de electrones) va del $[+]$ al $[-]$ por conductores de primer orden (cables eléctricos) y así se estableció por convenio. Sin embargo, más adelante se descubrió que el electrón tenía carga $[-]$ y que, en realidad, el sentido iba desde donde abundaban los electrones hacia donde escaseaban; así pues, el sentido real va desde el $[-]$ hacia el $[+]$. Algo diferente ocurre dentro del organismo por ser éste un conductor de segundo orden (una disolución) en donde los iones $[-]$ circulan en un sentido y los iones $[+]$ lo hacen en el contrario.

Al fisioterapeuta le interesa conocer lo que ocurre en el punto de contacto entre el conductor de primer orden (electrodos) y lo que ocurre inmediatamente bajo la piel por sus efectos electroquímicos.

Asimismo, en cuanto a la generación de campos magnéticos alrededor de un conductor, también le interesa conocer con precisión la polaridad eléctrica y la magnética; por ello se hará referencia a la ley de la mano izquierda y no a la ley de la mano derecha.

En fisioterapia debe considerarse que la energía eléctrica por un conductor de primer orden va de $[-]$ a $[+]$.

Fijación de electrodos

Electrodo activo

El electrodo activo conseguirá la función o efecto biológico que se pretende. Unas veces lo será por ser el más pequeño y otras por poseer la polaridad del efecto pretendido, aunque sea de igual tamaño que el otro.

Electrodo masa o indiferente

Este electrodo acompaña al electrodo activo para cerrar el circuito. No debe utilizarse la

expresión de «electrodo de tierra», porque la toma de tierra es de la red eléctrica y el paciente siempre tiene que estar aislado de la red eléctrica y de su toma de tierra.

Monopolar

Se da esta circunstancia cuando un electrodo es pequeño, destinado a ser el activo y el otro, mucho más amplio, está destinado a ser el indiferente o masa.

Bipolar

En esta circunstancia, los dos electrodos (de tamaños muy parecidos) se sitúan sobre la masa muscular (uno proximal y el otro distal). Con esta expresión se plantea un choque de nomenclatura cuando se hace referencia a la media frecuencia bipolar, porque se usan sólo dos electrodos de un canal, o doble bipolar, porque se usan de forma independiente los cuatro electrodos emparejados para cada canal.

Longitudinal

Se produce cuando un electrodo se sitúa en un sentido muy proximal (como en el origen de un plexo) y el otro en sentido distal, al final de un miembro y siguiendo el trayecto nervioso.

Contralateral

En esta circunstancia se fijan dos electrodos enfrentados y a cada lado del segmento corporal tratado. Suelen ser de igual tamaño, o el considerado activo algo más pequeño.

Homolateral

Es la colocación en el mismo lugar, pero del lado opuesto, como en los dos trapecios, en los bíceps de ambos brazos, un electrodo en cada mano, etcétera.

Puntual

Es una aplicación monopolar con el electrodo manual para puntos motores nerviosos y musculares.

Metamérica

Es la fijación de electrodos en que con un electrodo se busca el inicio de una raíz nerviosa que genera irradiación, y el otro electrodo se fija en la zona irradiada.

Multipolar

Es una fijación de electrodos típica de cuando se aplican varios canales y cada canal va con su pareja de electrodos. Se requiere fijar cuatro, seis o, incluso, ocho electrodos, pero deben estar emparejados por canales. Puede haber un choque de nomenclatura cuando se fijan cuatro electrodos en una aplicación de corrientes interferenciales tetrapolares. Conviene poner cuidado para no confundir la aplicación de corrientes interferenciales clásicas tetrapolares con la aplicación de dos canales, tres canales o cuatro canales.

Tripolar

Puede presentarse la circunstancia de que, en una aplicación con dos canales, dos electrodos se junten en uno común o indiferente y los otros dos se fijen en puntos motores independientes. En otras ocasiones, de los dos electrodos de un canal, un polo se bifurca para aplicar la misma polaridad en lugares diferentes. También ha existido un equipo de corrientes interferenciales con tres electrodos (v. «Colocación de los electrodos», en el cap. 3).

Impulsos, modulaciones y reposos

Cuando las corrientes se aplican de forma pulsada, es decir, mediante una sucesión de

pulsos con sus reposos, en baja frecuencia siempre se hace referencia a impulsos o pulsos; en media frecuencia se debe utilizar la expresión modulación en lugar de pulsos o impulsos por el hecho de que en media frecuencia, dentro del mal llamado pulso, existe otra frecuencia con sus propios pulsos u ondas.

En ultrasonoterapia, láser, alta frecuencia y otras, como la magnetoterapia, en realidad son modulaciones, pero se las denomina pulsos o impulsos.

Los reposos son silencios entre cada pulso, que provocan la aparición de una sucesión de pulsos y de reposos para producir sensación de calambre eléctrico en el paciente.

Formas de los pulsos

Las formas más frecuentes de los pulsos son cuadradas o cuadrangulares, triangulares, exponenciales, sinusoidales, trapezoidales y otras.

Las exponenciales tienden a desaparecer, porque en realidad se pretenden pulsos de subida progresiva. Las triangulares deben dividirse en dos: las de subida progresiva y bajada brusca y las de subida progresiva y bajada progresiva. Las primeras son fundamentales en algunas terapias, como en el tratamiento de parálisis periférica y en la exploración.

Tiempos de pulso y de reposo

En relación con los tiempos que se les atribuye a los pulsos, a las modulaciones y a los reposos puede afirmarse que en baja frecuencia se usan pulsos y espacios de silencio eléctrico que no son iguales al pulso. Por ello, habitualmente se enumeran por separado.

Por regla general, como unidad más práctica se usa el milisegundo (ms). Los pulsos no sobrepasan los 1.000 ms (1 s). Sin embargo, los tiempos de los reposos suelen alcanzar valores superiores a 1 s de forma que se invaden los segundos. Por ello, existen equipos que, cuando superan el valor de 1 s, pasan a contar

de ms a s, pero otros se mantienen en ms, en relación con 2.000, 3.000, 4.000 ms o más.

Además, procedente del mundo del TENS y de EMS, se expresa el tiempo de los pulsos en microsegundos (μ s). Esto crea un problema en muchas personas, ya que se requiere un esfuerzo mental para trasladar μ s a ms. El salto de ms a s es fácilmente entendible por habitual, pero convertir 50 μ s a 0,05 ms no es tan cómodo. Se debería de mantener la unidad única de ms y evitar los μ s y los s aunque sólo fuera por facilitar la enseñanza de la electroterapia.

Sería bueno que la nomenclatura de los TENS y de los EMS cambiara a tiempos de pulso en ms, pues 0,3 ms son 300 μ s. Los segundos se reservarán para los tiempos de tren y de pausa entre trenes.

También es frecuente observar la expresión «tiempo de fase» cuando la palabra *fase* normalmente se reserva para la *fase* [+] o *fase* [-], es decir, las ondas o pulsos por encima de la línea de 0 y por debajo de la línea de 0, lo que genera las «ondas monofásicas» porque ocupan una sola fase, o las «ondas bifásicas» porque ocupan ambas fases.

Lectura de la forma de las ondas

La forma de las ondas o pulsos se establece con un osciloscopio. Este instrumento representa en la línea horizontal el tiempo y en la vertical los voltios. El fisioterapeuta está acostumbrado a considerar que la altura de los pulsos es la intensidad. Esta confusión se tolera porque en realidad ambos parámetros son directamente proporcionales *en cuanto a sus valores*, pero *no así en la forma*. Esto se debe al hecho de que, en función de la carga aplicada al estimulador y su impedancia, pueden ser por completo diferentes entre sí la onda de voltaje y la onda de intensidad (v. «Observación de las ondas de voltaje y de intensidad en el osciloscopio», en el cap. 2). Cuando un osciloscopio mide la onda de intensidad, de forma previa se ha convertido en voltaje.

Intensidad

La intensidad es un parámetro al cual se hace referencia en las *corrientes de baja y media frecuencia*, pero no en otras. En electroterapia se expresa y se mide en miliamperios (mA).

Cuando un técnico electrónico hace referencia a intensidad, amperaje o corriente, está tratando de lo mismo. Un fisioterapeuta, cuando usa la expresión «corriente», por lo general no está haciendo referencia al amperaje o intensidad, sino a la modalidad de terapia aplicada al paciente. En magnetoterapia, también puede hacerse referencia a intensidad, que se expresa en amperios/metro (A/m), equivalente al Oersted en el sistema de medidas cegesimal (CGS).

El parámetro de intensidad es insuficiente para dosificar en ciertas técnicas. Debe considerarse la intensidad por unidad de superficie tratada; de ahí la expresión mA/cm².

Usar la expresión de intensidad en ultrasonoterapia, en láser o en otras técnicas que se ajustan en vatios no es correcto ya que los W son potencia.

La intensidad, el voltaje y la resistencia del organismo se interrelacionan directamente de acuerdo con la ley de Ohm en 1 s, y, si se incluye el tiempo de sesión, entra en juego la ley de Joule. Por esto, muchas de estas técnicas todavía no están bien resueltas en cuanto a su sistema de dosificación, pues se apoyan más en lo ocurrido en un segundo, no considerando adecuadamente el tiempo de sesión, en el empirismo y en el tanteo estadístico, en lugar de apoyarse en verdaderas bases científicas.

Nivel relativo de emisión

En muchos equipos (como en TENS y en aparatos de electroestética) se hace referencia a regular la intensidad, pero no se ajustan mA, sino que, del aporte energético que emite, se regula en 10 pasos y, emita en el parámetro que emita, a todo se lo denomina intensidad.

A este sistema se lo debería denominar *nivel relativo de emisión*, porque siempre se ajustan con el mismo rango y cada aparato puede emitir en máximos de potencias diferentes. Así:

- Si un equipo emite 1 W máximo, ajustar el nivel 8 equivale a emitir 0,8 W.
- Si un equipo emite 10 W máximo, ajustar el nivel 8 equivale a emitir 8 W.
- Si un equipo emite 100 W máximo, ajustar el nivel 8 equivale a emitir 80 W.
- Si un equipo emite 5 W máximo, ajustar el nivel 8 equivale a emitir 4 W.

Es un sistema que indica que «algo emite, pero se desconoce en qué parámetro». *Se presupone que un diplomado o un licenciado en terapéutica física debe saber cómo y con qué trabaja.*

Dosis

En electroterapia, los sistemas de dosificación deben referirse a la energía recibida por el paciente en lugar de considerar la energía aplicada.

Se trata de la energía recibida durante toda la sesión, lo que implica el concepto de tiempo y, siempre que se aplique una energía durante un tiempo, se realiza un trabajo en J. Si dicho trabajo se reparte entre una superficie, este cociente será la dosis (J/cm²). En cada técnica se debe encontrar la dosis en J/cm² o *densidad de energía recibida*. Cuando se considere la profundidad, habrá que hacer referencia a J/cm³.

Los fabricantes deben añadir en sus sistemas de dosificación el concepto de J/cm² en técnicas como el galvanismo, los ultrasonidos, el láser, los infrarrojos y en todas aquellas en que resulte factible.

En algunas técnicas es excesivamente complejo el control de la energía aplicada o recibida, como en onda corta o microonda (termoterapia profunda). Por ello, no queda otra opción que acudir a la percepción térmica del

paciente siempre que su sistema nervioso sensitivo se encuentre intacto (v. dosis en alta frecuencia).

En cuanto a la dosificación para respuestas sensitivas y motoras, lo mejor es acudir a los capítulos correspondientes (v. caps. 5, 8, 9, 11 y 12) y a otros en los que se refiere al tema de dosificación con relación a la percepción sensitiva y a la respuesta motora.

Potencia

En física puede encontrarse la P como símbolo de potencia, pero en electromagnetismo se emplea la W y aparecerá en la nomenclatura cotidiana.

El parámetro de potencia se reserva para técnicas como ultrasonidos, alta frecuencia, infrarrojos o láser. Debiera extenderse también a la media frecuencia y baja frecuencia (sobre todo en el galvanismo). En baja frecuencia y media frecuencia se usan los mA como unidad de intensidad, aunque en aras de la precisión debiera hacerse también en W.

Cuando se haga referencia a potencia, se tratará de la misma con su unidad específica en W y es un error emplear la expresión intensidad porque se refiere a otro parámetro eléctrico.

La potencia es el concepto que indica la rapidez o eficacia con que se realiza un trabajo. La potencia se expresa en W y es el trabajo realizado justo en 1 s. Si se aplica mucha potencia, indica un suministro energético muy acelerado. Poca potencia o baja potencia indica un suministro energético lento y pausado. Deben encontrarse los valores adecuados para no saturar al organismo y los suficientes como para conseguir respuesta biológica, penetración y rapidez en las sesiones.

En electricidad, voltaje por intensidad es igual a potencia ($V \cdot I = W$). En la dosificación de la corriente galvánica se debiera incluir el concepto de potencia (W) para calcular la dosis en J/cm^2 *a posteriori*.

Potencia eficaz

La potencia eficaz (W_{ef}) es igual a:

$$W_{ef} = W_p \cdot t_p \cdot F_{Hz} \cdot 1 s$$

Los fabricantes utilizan diversos sistemas matemáticos para indicar la potencia eficaz (v. «Regulación de potencia» en «Ultrasonoterapia», en este cap.). Esta fórmula refleja valores concretos y, cuando se trata de indicar un porcentaje, suelen usar otras fórmulas.

Potencia de pico

La potencia de pico (W_p) es la potencia alcanzada en los pulsos contenidos en 1 s cuando coincide con su máxima altura. *Los estimuladores indican la intensidad de pico.*

Trabajo

La potencia por el tiempo en segundos es igual al trabajo realizado al terminar una sesión. Así pues, siempre que se considere la duración de las sesiones, tendrá que tratarse de J ($W \cdot t = J$). *El concepto de potencia se reserva al trabajo realizado en un segundo.* Si se trata del conseguido en más de 1 s o en menos de 1 s, se expresa en J.

Densidad de energía

Esta expresión se utiliza como sinónimo de dosis en J/cm^2 , es decir, la energía aplicada en una sesión y *que le ha correspondido a cada cm^2 de la superficie corporal tratada después de haber transcurrido el tiempo de sesión.*

También se puede aplicar a los mA y a la potencia cuando se relacionan con la superficie por la cual circulan, pero durante 1 s. Si se encuentran metodologías que relacionen esta energía con el volumen tisular más que con la superficie tratada, tendrá que hacerse referencia a densidad por unidad de volumen.

Se debe aplicar en dos sentidos:

- energía emitida y
- energía recibida.

Por ejemplo, cuando un cabezal de ultrasonidos emite en W/cm^2 no significa que se reciba exactamente la misma energía que se absorbe, expresada en W/cm^2 , o cuando un emisor de láser emite cierta cantidad de energía por cm^2 pero por la divergencia del haz llega otro valor a la superficie corporal.

Además, como se intuye de los párrafos anteriores, puede hacerse referencia a densidad energética expresada en: mA/cm^2 , emitidos y recibidos; W/cm^2 , emitidos y recibidos, o J/cm^2 , emitidos y recibidos.

Este sistema se puede hacer extensivo a otras energías, como a la *presión*, que es la fuerza aplicada por unidad de superficie. En muchas de estas técnicas, en las cuales todavía no se considera de forma medible la profundidad, habrá que agregar en el futuro la tercera dimensión para tratar de volumen en lugar de superficie corporal.

Por ello, considerar que la expresión W es potencia y que W/cm^2 es intensidad es un error. *W es potencia por todo el electrodo o cabezal y W/cm^2 es la potencia por la unidad de superficie de dicho electrodo o cabezal.*

Corriente constante y voltaje constante

Cuando los equipos trabajan de forma que mantienen constante el parámetro de intensidad, se afirma que trabajan en corriente constante (CC). Cuando lo que mantienen fijo es el parámetro de voltaje, trabajan en voltaje constante (VC).

Puede producirse un choque de nomenclatura con la expresión corriente continua (CC), pero en fisioterapia a la corriente continua se la denomina corriente galvánica (debe evitarse la expresión corriente directa).

También puede haber otro choque de nomenclatura cuando se usa la expresión corriente continuada (CC) para expresar que una corriente se aplica de forma fija sin detenerse durante toda la sesión.

Así pues, si no se tiene precaución, puede usarse la abreviatura CC para varias expresiones; en este caso se sugiere:

- Corriente constante será CC.
- Corriente continua será corriente galvánica.
- Corriente continuada será frecuencia fija.

Frente a corrientes con importante componente galvánico y consiguiente riesgo de quemadura electroquímica, debe aplicarse o activarse la tecla de CC; con corrientes alternas y pulsos cortos «puede» activarse la modalidad de VC.

BAJA FRECUENCIA

Corriente galvánica

Esta corriente siempre ha conservado el nombre de galvánica entre los fisioterapeutas y como tal debe mantenerse. En electricidad o electrónica se la denomina corriente continua. La expresión corriente directa no procede porque es una traducción del inglés y ya existe su nombre en español; además, «corriente directa» no significa nada porque todas son directas. Esta expresión da lugar a la anécdota de que un alumno pregunte:

«Profesor... ¿hay corrientes indirectas?».

La frecuencia de la corriente galvánica puede considerarse de 0 Hz o frecuencia infinita. En fisioterapia con cierta frecuencia se comenta que si no hay pulsos, no hay frecuencia. Pero según la física, si no hay frecuencia, no hay energía. En fin, aunque se afirme que su frecuencia es 0, en realidad es una sucesión infinita de pulsos.

La expresión galvanismo es la técnica que aplica la corriente galvánica con sus efectos más directos. La expresión iontoforesis se re-

serva para un efecto de la corriente galvánica basado en la traslación de iones desde el electrodo hacia el paciente. La palabra *foresis* indica desplazamiento de iones en general, sin considerar la polaridad.

Una de las características de la corriente galvánica es su polaridad y se reserva el nombre de $[+]$ para el ánodo y de $[-]$ para el cátodo.

Como fisioterapeuta se considerará que los electrones salen por el $[-]$ y vuelven al estimulador por el $[+]$.

Si algún equipo de baja frecuencia ofreciera la opción de aplicar la corriente galvánica tanto en CC como en VC, tendría que estar fuera de norma y prohibido (incluso con el certificado CE). La aplicación galvánica en VC es garantía de quemadura electroquímica.

4

Galvanopalpación

Consiste en la búsqueda de zonas hipersensibles o hiperálgicas con una corriente por una zona corporal, con el uso de un electrodo móvil. Se basa en que las terminaciones nerviosas en estado de normalidad percibirán la corriente como un suave calambre eléctrico, pero si las terminaciones se hallan en un ambiente de alteración biológica, el estímulo de normalidad se convierte en estímulo doloroso.

La corriente que se usó al inicio para esta técnica fue la galvánica con el polo $[+]$ como electrodo activo. Sin embargo, es recomendable cambiarla por corrientes pulsadas monofásicas y de polaridad $[-]$, como la corriente de Trabert.

Este fenómeno no aparece sólo con estas corrientes, sino que aparece casi con todas, con ultrasonidos, con el láser, con calor y con frío. En definitiva, se trata de localizar con precisión los procesos patológicos (v. «Galvanopalpación», en el cap. 6).

Corrientes galvánicas interrumpidas

Son las clásicas corrientes de baja frecuencia basadas en *pulsos monofásicos*, que se caracteri-

zan por tener polaridad e introducir reposos entre los pulsos.

Muchos estimuladores de baja frecuencia sólo están diseñados a base de corrientes galvánicas interrumpidas. Desde el momento en que se introducen los pulsos bifásicos o alternas, ya dejan de ser de galvánicas interrumpidas.

Con este gran grupo de corrientes pueden formarse trenes (farádicas), se pueden aplicar de forma mantenida (frecuencia fija) o como pulsos aislados.

Si estas corrientes se convierten en bifásicas, dejarán de ser galvánicas interrumpidas para pasar al grupo de las alternas o bifásicas.

Con las galvánicas interrumpidas se pueden diseñar corrientes con mayor o menor componente galvánico y adaptarse a la fisiología del sistema nervioso o del músculo.

Las galvánicas interrumpidas siempre se aplican en CC. Es muy peligroso aplicarlas en VC, sobre todo si poseen un fuerte componente galvánico. Puede admitirse el uso en VC en aplicaciones momentáneas o exploraciones de corta duración (que no duren más de 1 minuto).

Componente galvánico

Cuando las corrientes son pulsadas, pero no alternas ni bifásicas, aportan una energía que puede equivaler a una corriente galvánica. Este valor de una posible galvánica equivalente a la pulsada es la intensidad eficaz de la pulsada. Este componente galvánico se debe considerar porque puede ser tan elevado que cause quemaduras en los pacientes (v. «Componente galvánico de las galvánicas interrumpidas», en el cap. 5).

Corrientes alternas

Estas corrientes se caracterizan por su alternancia en la polaridad. Por lo general se em-

plean en media frecuencia y alta frecuencia. En baja frecuencia se las denomina bifásicas.

Cuando las ondas son sinusoidales y se enlaza la onda [+] con la onda [-], se las considera alternas típicas. Sin embargo, puesto que en baja frecuencia las ondas suelen ser triangulares o cuadrangulares, normalmente se las denomina bifásicas aunque en realidad son alternas.

Las bifásicas se pueden conseguir con pulsos consecutivos (positivo y negativo seguidos) o con pulsos desfasados (positivo y negativo con cierto tiempo de desfase). Así pueden denominarse *bifásicas consecutivas* o *bifásicas desfasadas*, respectivamente.

La expresión bifásicas simétricas o asimétricas indica que la onda superior es igual que la onda inferior en las simétricas, o que la superior es diferente a la inferior en las asimétricas. Con todo, esto es muy relativo porque depende de la forma de medirlo y de la carga sobre la cual se aplican. Es mejor dejar el tema de las asimetrías al margen para no plantear cuestiones erróneas (v. «Observación de las ondas de voltaje y de intensidad en el osciloscopio», en el cap. 2).

Asimismo, pueden encontrarse expresiones como *bifásicas compensadas* o *no compensadas*, que hacen referencia al hecho de que el área ocupada por la onda superior es del mismo tamaño o diferente al de la onda inferior. Corresponde repetir lo referido en el párrafo anterior sobre las deformaciones que sufren las ondas cuando se aplican según la impedancia corporal y su medición.

Los pulsos bifásicos en realidad deberán clasificarse como corrientes alternas. No debe confundirse *bifásicas* con *difásicas* del grupo de las diadinámicas, pues las primeras son alternas y las segundas tienen polaridad.

Las corrientes alternas pueden aplicarse en VC aunque puede optarse entre VC y CC.

Corrientes diadinámicas

Las corrientes diadinámicas o moduladas de Bernard (en su origen) forman un grupo de

cinco corrientes más una corriente galvánica para superponer a cualquiera de las otras a voluntad. Esta corriente galvánica se denomina *base de galvánica* y su intensidad suele regularse alrededor del 20 % de la intensidad alcanzada por la modalidad de la corriente diadinámica elegida.

Los electroestimuladores tienen que trabajar en CC para aplicar estas corrientes.

Muchos estimuladores modernos agregan e introducen modalidades de diadinámica que no tienen nada que ver con las originales y, en consecuencia, cada fabricante se inventa su propia nomenclatura para denominarlas y describirlas (v. cap. 9).

Corriente monofásica fija

En este caso se presenta un choque de nomenclatura porque la expresión MF no se debe confundir con FM, de frecuencia modulada o modulación en frecuencia, de forma que debiéramos reservar MF para la corriente monofásica fija y FM para la modulación en frecuencia.

Además, algunos fabricantes reservan la expresión FM para modulaciones de frecuencia en baja frecuencia de 7 a 14 Hz o aperiódicas de Adams, en tanto que otros fabricantes la usan para toda corriente que module su frecuencia.

Corriente difásica fija

Una norma de seguridad que tienden a cumplir los fabricantes consiste en que las corrientes que se puedan diseñar nunca superen el 50 % del componente galvánico. Según esto, la difásica fija (DF) debiera desaparecer antes que otras por poseer un componente galvánico del 66,6 %.

No debe confundirse *difásica* con *bifásica*. Difásica significa que se aplican dos fases que han salido de un transformador, pero ambas son positivas [+]. Bifásica se refiere al empleo

de dos fases, pero una es positiva [+] y la otra negativa [-].

Cortos períodos

Esta corriente está destinada a evitar el fenómeno de «acostumbramiento» sensitivo y reserva la expresión «acomodación» para el fenómeno de acomodación de membrana muscular o nerviosa frente a respuestas motoras.

Largos períodos

Se los denomina así porque los cambios de la anterior se llevan a cabo de forma más suave y en cadencias de más tiempo.

Ritmo sincopado

Esta corriente está destinada a respuestas motoras para conseguir relajación muscular.

Otras modalidades son evoluciones posteriores que no se ajustan a lo diseñado por Bernard, lo cual no significa que estén mal; simplemente, no son las originales. También es frecuente encontrar que el ritmo sincopado (RS) tiende a eliminarse de los equipos, aunque esta corriente es muy útil.

Base de galvánica

La base de galvánica (Bg) disminuye el efecto sensitivo y el motor. Así pues, en aplicaciones donde se busquen estos efectos se evitará.

La base aumenta el componente galvánico, entonces se reservará para casos en que se pretenda un fuerte efecto galvánico con la corriente.

Aperiódicas de Adams

La expresión aperiódica indica que no posee período fijo, es decir, que cambia la frecuencia de forma constante.

Se trata de una corriente de baja frecuencia, de aplicación mantenida, con pulsos cuadran-

gulares monofásicos de 1 ms y de reposo variable adaptado a barridos de frecuencia entre 7 y 14 Hz cada 5 s aunque no todos los equipos lo realizan en 5 s).

La expresión FM significa *frecuencia modulada* o *modulación en frecuencia*. Puede confundirse con la *modulación en frecuencia de media frecuencia* (MF). Asimismo, MF se refiere a *monofásica fija* de las corrientes diadinámicas, que puede confundirse con MF de *media frecuencia*.

Dado este baile entre la M y la F, estaría bien mantener la denominación de aperiódica de Adams para no contribuir más a la superposición de siglas. No obstante, es una corriente que algunos fabricantes mantienen como «menú fijo», mientras que otros no la incluyen en sus equipos.

La expresión FM o modulación de frecuencia ya se aplica tanto en baja frecuencia como en media frecuencia, como las de Adams, en el TENS, en diadinámicas, todos los barridos de la media frecuencia, en magnetoterapia, en láser, en ultrasonidos, etcétera.

Corriente estocástica

La expresión «estocástica» es un sinónimo de aleatorio o «al azar»; por eso es una corriente formada por pulsos de 1 ms, pero con reposos aleatorios que producen cambios de frecuencia también aleatorios durante toda la sesión. Es una corriente que se destina a la analgesia.

Faradización y corrientes farádicas

Faradizar un músculo o conjunto neuromúsculo consiste en provocarle un trabajo de contracción (vía transcutánea) durante unos segundos con descanso de otros tantos segundos, pero siempre que se encuentre sano o con ligera afectación patológica y no denervado.

La farádica, básicamente, consiste en aplicar ráfagas formadas por *pulsos* y sus *reposos* en forma de *trenes* con sus *pausas* o descansos.

Después de la corriente farádica se usaron trenes de alto voltaje y de media frecuencia.

En primer lugar, hay que ponerse de acuerdo para denominar el pulso o impulso dentro del tren. A continuación, se provocan discusiones por la nomenclatura atribuida a la separación entre impulsos dentro del tren, donde unos la denominan *reposos* y otros, *pausas*.

Existe una tendencia a asociar reposo con descanso muscular, pero también es necesario un reposo eléctrico cuando se repolariza la membrana celular después de que la haya despolarizado un pulso. En general, siempre se hace referencia al tiempo entre pulsos como reposo y se ha reservado la pausa para el descanso entre contracción y contracción.

Las ráfagas de pulsos, los trenes y las secuencias son expresiones habituales para esta modalidad de aplicación de las corrientes. El descanso entre trenes debería denominarse de forma que no coincida con los reposos dentro del tren para evitar confusiones, sobre todo a la hora de enseñar la electroterapia. En esta obra, para el espacio entre trenes se reserva la expresión *pausas* o también *descansos musculares*.

En cuanto a la forma de los pulsos, no tiene nada que ver la faradización de los orígenes, procedentes del carrete de Ruhmkorff con la siguiente generación basada en pulsos triangulares, o con la última de cuadrangulares monofásicos o bifásicos.

Ha existido un sistema que contaba los trenes según el número de ellos contenidos en un minuto. Este sistema debe desaparecer por lo engorroso, lo limitado que es y porque está muy mal diseñado. El tiempo del tren y el de la pausa deben regularse en segundos de forma independiente.

Para conseguir la contracción completa y homogénea de la musculatura, podría afirmarse que existen dos escuelas: una basada en el tiempo de pulso y el tiempo de reposo; la otra, apoyada en el tiempo de pulso y la frecuencia.

La primera se fija más en la fisiología de la membrana celular nerviosa y muscular (mejor

tiempo de impulso y período refractario de membrana). La segunda, en la forma y tiempo de pulso más soportables y en la frecuencia aproximada que coincide con los reposos correspondientes al período refractario medio. La primera está pensada para pacientes y tratamientos basados en exploraciones con curvas (I/T)-(A/T). La segunda, en entrenamiento con deportistas. Como fisioterapeuta, centrado en enfermedades, debe considerarse más adecuado el primer enfoque aunque el segundo sea más mediático.

Las rampas de subida y bajada deben expresarse en segundos, pues se comprende mejor el tiempo empleado en conseguir la máxima intensidad. Si se refleja dicho parámetro en porcentaje, implica un cálculo mental de aproximación a lo que pudiera ser o trasladarlo a tiempo real, circunstancia que enlentece el proceso y confunde a quien lo maneja.

Corrientes neofarádicas

El concepto de corriente neofarádica ha ido apareciendo durante años por diferentes motivos, añadidos a la corriente farádica, pero no acaba de imponerse. Será mejor utilizar la expresión «corriente farádica» para la modalidad actual con todas su posibilidades de variación.

La corriente farádica actual permite modificaciones como:

- La forma de pulso cuadrangular y triangular.
- La polaridad monofásica y bifásica.
- El tiempo del pulso en ms.
- El tiempo de reposo en ms.
- El tiempo del tren en s.
- El tiempo de la pausa en s.
- La rampa en s.

Faradización intencionada

En las grandes potenciaciones o contracciones musculares, no debe dejarse al paciente solo con el aparato programado con unos tiempos de tren y pausa automáticos, ya que

pueden ocurrir accidentes lesionales, fatiga del paciente, tirones musculares imprevistos, tetanizaciones incontroladas, etc. El paciente puede requerir la ayuda del fisioterapeuta y no se estaría presente para atenderle.

Esto se resuelve con un pulsador que controla la emisión de corriente y detiene la emisión de corriente. Este sistema debe ser por completo manual, es decir, en tanto esté pulsado, se generará corriente; en el momento de soltarlo, la corriente se detendrá.

Algunos sistemas, al pulsarlos, inician una ráfaga de pulsos preprogramada, pero no hay forma de detenerla mientras se consume el tiempo establecido. Esto es un error porque suele ser más útil y de mayor emergencia detener una mala aplicación que iniciarla.

4

Todo estimulador eléctrico que ofrezca la posibilidad de sistemas para potenciación intensa o elongación muscular tiene que ofrecer la posibilidad de un control voluntario o intencionado para mantener o retirar el estímulo eléctrico según los deseos del fisioterapeuta o si las circunstancias lo permiten. Todo equipo que no permita la estimulación intencionada debería estar fuera de la normativa legal.

Este pulsador, en corrientes en que no procede la aplicación intencionada, por lo general actúa como alarma de aviso o corte de la corriente que se está aplicando porque el paciente no la tolera.

Corrientes TENS y EMS

Hablar de una corriente de tipo TENS es una perogrullada que no dice nada, pues entre los TENS y los EMS hay variaciones entre sus modalidades de corrientes. Por lo general, al usar expresiones de este tipo, se hace referencia a pulsos de muy corta duración.

A este tipo de «pulsos muy cortos» en tiempo, pero muy altos, se les denomina «corrientes de alto voltaje», sean monofásicas o bifásicas.

Escuchar la palabra TENS suele ser sinónimo de «aparato para electroanalgesia» y EMS, «aparato para fortalecimiento muscular» y, en realidad, no es así.

Estaría bien considerar la TENS como «técnica de estimulación nerviosa sensitiva transcutánea» y EMS, «estimulación neuromuscular transcutánea», pero como las siglas proceden del inglés, no se adaptan bien al español. Podrían generarse siglas nuevas, pero seguramente es mejor dejar las cosas como están.

Burst del TENS

El TENS, básicamente, tiene tres formas de trabajo:

- Aplicación mantenida o frecuencia fija (en los propios aparatos se encuentra como TENS continua).
- Modulaciones (con tres modalidades).
- *Burst*.

Cuando se describen estos últimos, debe hacerse con cuidado porque se suelen usar expresiones como «pequeñas ráfagas», «pulsos que contienen otros pulsos» y otras. En realidad es una modalidad de modulación y se generan *modulaciones cuadradas* semejantes a las que se realizan en media frecuencia.

Si no se es cuidadoso a la hora de enseñar este tema, puede generarse más confusión que claridad. Se tiene la ventaja de que, sintiéndolos en la práctica, se comprenden con facilidad (v. cap. 8).

Corrientes de alto voltaje

Son corrientes formadas por pulsos muy cortos (de 0,1 a 0,5 ms), pero que requieren elevar mucho la intensidad (en realidad se eleva el voltaje) para conseguir los efectos pretendidos.

Suelen usarse en los TENS y en los EMS, y pueden ser bifásicas o monofásicas.

Curvas I/T-A/T

La nomenclatura para las curvas de exploración es muy variada y difiere de unos autores a otros. Hay expresiones como curvas de duración/tiempo, intensidad/tiempo para cuadrangular y para triangular, etc. Las expresiones más clásicas son curvas de intensidad/tiempo (I/T) o (I/t), para las cuadrangulares, y de acomodación/tiempo (A/T) o (A/t), para las de pulsos triangulares.

La de trazado con pulsos cuadrangulares mide la intensidad necesaria con los tiempos que se han usado en la exploración y así se la denomina. El trazado con pulsos triangulares es lo mismo, pero como se refleja el fenómeno de acomodación frente a los pulsos de subida progresiva, se la ha denominado curva de acomodación/tiempo (A/T) o (A/t) (v. cap. 10).

Otra variante de desacuerdo muy frecuente, aunque no de nomenclatura, es la gráfica utilizada para las curvas, pues se observan gráficas desde 5 ms hasta 0,1 ms; desde 2 ms hasta 0,1 ms; desde 300 ms hasta 0,1 ms; desde 1.000 ms hasta 0,1 ms, y otras.

Estas diferencias provocan que, cuando se haga referencia a las curvas, cada cual vea en ellas la parte que le interesa y ello no pueda hacerse extensivo o comparable con lo que otros autores explican. Como fisioterapeuta, es interesante la parte de la enfermedad y muchas enfermedades se reflejan entre 1.000 y 100 ms, por lo que estas gráficas deben cubrir desde 1.000 ms hasta un mínimo de 0,1 ms.

Asimismo, se observan trazados en gráficas lineales comparados con gráficos logarítmicos y es curioso comprobar que presentan el mismo aspecto cuando esto es imposible. Ello indica que muchas de las que se publican son copiadas o imaginadas sin haberse realizado en realidad. Más grave es cuando se plantean temas de parálisis periférica y se describen so-

bre gráficas que abarcan desde 5 ms hasta 0,1 ms.

La nomenclatura usa en este caso rangos que van desde el número más alto hasta el número menor porque las curvas normalmente se realizan desde tiempos largos y avanzan hacia tiempos cortos, y la jerga que se ha generado en la práctica es en este sentido.

Cronaxia

Es bastante frecuente encontrarse cálculos de la cronaxia partiendo de reobases que se hallaron con 5 ms, con 20 ms o con 100 ms. Para que la reobase ofrezca garantías de seguridad, debe hallarse en 1.000 ms. Podrían servir tiempos de 500 ms, 300 ms o 200 ms, pero hay que estar seguro de que la rama reobásica es plana en todos esos tiempos (v. cap. 10).

Triángulo de utilidad terapéutica

Otra disparidad que en ocasiones se encuentra en la bibliografía consiste en definir de manera errónea el triángulo de utilidad terapéutica (TUT). Este triángulo está formado por las curvas triangulares de musculatura sana y de musculatura patológica (ambas triangulares). En algunos textos aparece como si estuviera formado por otras curvas.

En los ascensos de la curva de acomodación o triangular pueden encontrarse denominaciones varias, pero las más clásicas serían:

- Rama de acomodación catódica para el ascenso desde el ángulo de deflexión hacia la izquierda (hacia tiempos cortos).
- Rama de acomodación anódica para el ascenso desde el ángulo de deflexión hacia la derecha (hacia tiempos largos).

Esta última recibe este nombre porque la respuesta contráctil se produce al terminar el pulso (la retirada de energía es un comportamiento anódico).

MEDIA FRECUENCIA

No debe confundirse la nomenclatura de media frecuencia (MdF) con MF o FM de modulación de frecuencia o de monofásica fija. Deberían evitarse las siglas para no caer en coincidencias que, de hecho, provocan la confusión actualmente existente. De mantener las siglas, se reservaría MdF para media frecuencia, MF para monofásica fija y FM para modulación de frecuencia o frecuencia modulada, ya que para la modulación en amplitud se emplea AM.

Otro fallo muy frecuente consiste en confundir la media frecuencia con las *corrientes interferenciales*.

La media frecuencia apareció con las corrientes interferenciales, pero la MdF ha evolucionado y las interferenciales han quedado como una parte dentro de la media frecuencia.

La media frecuencia consiste en generar una (o dos) *corriente portadora* entre 2.000 y 10.000 Hz, la cual se modulará en ondas (o contorno de crestas; v. cap. 12).

Las formas de las modulaciones pueden ser diversas (sinusoidales, cuadrangulares, triangulares, etc.).

Las frecuencias de las modulaciones se localizan en baja frecuencia, entre 0 y 250 Hz (algunos equipos llegan hasta 500 Hz). La frecuencia de modulación de 0 Hz es posible, pues ello significaría que se mantiene la portadora sin modulación. La frecuencia de portadora no puede ser de 0 Hz porque desaparecería la corriente, pero la de modulación sí puede serlo (v. cap. 12).

Los tipos de modulación son dos (modulación en amplitud o AM y modulación en frecuencia o FM). La *modulación en frecuencia* lleva implícita la de *amplitud*; por lo tanto, también se la podría denominar AMF. Las modulaciones en frecuencia producen barridos pasando por las frecuencias intermedias entre dos límites marcados.

La consecución de las modulaciones se realiza por cruce de dos circuitos de media frecuencia sobre el paciente o modulando de forma electrónica dentro del equipo. Las modulaciones dentro del paciente o la interferencia de dos circuitos (IF: interferenciales clásicas) también se denominan *interferenciales tetrapolares*. Las modulaciones conseguidas dentro del equipo se denominan de manera errónea interferenciales bipolares; es preferible cambiar a *moduladas en amplitud y frecuencia AMF* o *media frecuencia bipolar*.

Las modulaciones pueden aplicarse como:

- frecuencia fija (AM),
- barridos de frecuencia FM o AFM,
- modulaciones en trenes y
- combinaciones múltiples que varían mucho de un fabricante a otro.

Contornos

Cuando se aplican barridos en la frecuencia de modulación, pueden llevarse a cabo de forma progresiva o continuada, de manera que se cambie bruscamente entre dos valores de frecuencia o se establezcan paradas temporales en los extremos de frecuencia y cambios con mayor o menor rapidez. Esto conduce a tres formas de contorno: *triangular*, *cuadrangular* y *trapezoidal*, respectivamente (v. cap. 12).

Otro choque de nomenclatura lo plantea el hecho de tratar de *media frecuencia bipolar* con la *aplicación bipolar* de los electrodos. En media frecuencia se la denomina bipolar o doble bipolar porque cada canal trabaja de manera independiente con la modulación conseguida dentro del estimulador. En la modalidad de colocación de electrodos, se refiere al hecho de que dos electrodos se fijan uno en sentido proximal y otro en sentido distal al grupo muscular.

Estaría bien buscar un cambio en alguna de las dos expresiones o matizar a qué se hace referencia cuando se usa la palabra *bipolar*.

Corrientes interferenciales clásicas, moduladas del Dr. Nemec o nemectrodínicas

Son la misma modalidad y se refiere al mismo tipo de corrientes. Fueron diseñadas por el Dr. Nemec, quien las describió, con la posibilidad de modularlas en el paciente, lo que obliga a que siempre se apliquen con cuatro electrodos cruzados entre sí (aplicación tetrapolar).

A esta modalidad, algunos fabricantes la denominan como IF. Las modulaciones se podían dejar en una frecuencia fija AM o en barridos de frecuencia AFM. Otros fabricantes se refieren a *corrientes interferenciales tetrapolares*.

La expresión «barridos» quiere indicar un vaivén entre dos frecuencias límite. Algunas empresas lo regulan e indican la frecuencia inferior y la superior, pero otras suelen indicar la menor y añaden un valor correspondiente a la diferencia entre ambas. Este valor es el *espectro*. Por ejemplo, si se desea un barrido de 80 a 100 Hz, unos indican el bajo de 80 y el alto de 100 para que el aparato oscile entre ambos. Otros fabricantes indican el valor menor de 80 Hz de modulación y se regula un espectro de 20 que, sumado a 80, llega hasta 100. Este último sistema es más difícil y engorroso, y sería mejor eliminarlo y acudir al primero más simple y comprensible, entre otras cosas porque algún fabricante denomina *espectro* a otros parámetros.

Podría afirmarse que la media frecuencia nació con las corrientes interferenciales clásicas en una primera generación de estimuladores. Con posterioridad se pasó a una segunda generación en que se modificaron bastante las posibilidades y aparecieron las mal llamadas corrientes *interferenciales bipolares*, que deberían denominarse *moduladas desde el interior del equipo*, entre otras cosas porque el procedimiento electrónico es distinto. Algunos fabricantes las diferencian como AMF.

Media frecuencia modulada bipolar

En una tercera generación emergió una multitud de modificaciones sobre los equipos de media frecuencia (MdF), pero los fabricantes no se coordinaron, de forma que cada empresa diseñó aquello que le pareció mejor, lo que provocó una carrera por la originalidad que, en muchos casos, ofrecen modalidades que no tienen ninguna utilidad (al menos, por el momento). En este caso entraría el grupo más arriba denominado como *combinaciones múltiples*.

En general se regulan trenes con frecuencia fija, con frecuencia variable, se ajusta el tiempo de subida, el de mantenimiento y el de bajada. La pausa entre trenes puede estar a 0 de energía o mantener una frecuencia de fondo.

Los barridos pueden ser progresivos o bruscos, pueden subir durante todo el tiempo o durante un tiempo para mantenerse en frecuencias fijas unos segundos, o pueden presentarse otras situaciones. Estas últimas variables producen los *contornos*, que habitualmente son tres: triangular, cuadrangular y trapezoidal.

También se encuentran los *vectores* y habitualmente se observan los siguientes: dinámico, isoplanar, coplanar y rotatorio.

El vector puede activarse o dejarse inactivo, automático o manual, limitar el recorrido, marcar el tiempo, etc. Los sistemas de vector sólo se pueden aplicar en las corrientes interferenciales con modulación dentro del paciente (*interferencial tetrapolar clásica* o *IF*).

Modulación 0

La modulación 0 de una portadora entre 3.000 y 6.000 Hz posee propiedades muy interesantes, como efecto de pseudoanestesia. Hacer referencia a modulación 0 es lo mismo que corriente mega-A. Así pues, si se aplica la portadora de media frecuencia, alterna, a 5.000 Hz, se está aplicando la mega-A.

Iontoforesis con corrientes interferenciales

Ésta es otra expresión extraña e inadecuada, porque referirse a corrientes interferenciales implica tratar de una corriente alterna sin polaridad y sin efectos de forésis. Se debería tratar de *iontoforesis con la portadora rectificada a monofásica*, porque se intercala un diodo rectificador. Esto convierte la corriente alterna de la portadora (o ya modulada) en ondas positivas o directamente en corriente galvánica.

Si existiera la posibilidad de aplicar la corriente en CC, sería factible aplicarla, pero si se trabaja en VC, nunca puede ponerse en práctica.

Los profesionales deben estar atentos ante los experimentos que, de vez en cuando, se anuncian como avances científicos.

Corriente de Kots o corriente rusa

Esta corriente se diseñó para el trabajo muscular intenso, aprovechando que la portadora de media frecuencia causaba menor molestia al paciente (v. caps. 11 y 12). La portadora típica es de 2.500 Hz modulada en «mal llamados pulsos» o, mejor, *modulaciones cuadradas*.

En principio, la frecuencia de modulación fue de 50 Hz, pero un buen estimulador permitirá modificar esta corriente en sus frecuencias, en los tiempos de los trenes y las pausas, en la forma de la modulación y el tiempo de la modulación, así como las rampas para los trenes. Es fundamental usar la aplicación intencionada.

La posibilidad de cambios en la frecuencia de modulación dentro del tren debe oscilar entre 10 y 100 Hz, como mínimo.

ALTA FRECUENCIA O RADIOFRECUENCIA

Cuando se hace referencia a la alta frecuencia (en la banda de radiofrecuencia, sin entrar

en la banda de la luz), se está tratando el tema de *termoterapia profunda*, es decir, se entra en el organismo con una energía para que se convierta en calor.

Este fenómeno se denomina diatermia y esta palabra, a veces, se usa como una técnica específica de determinada terapia cuando es común para todas las aplicaciones de radiofrecuencia.

Como muchas de estas técnicas, se puede aplicar de forma continua o de forma pulsada.

Considerar que el continuo es térmico y el pulsado es atérmico es un error, ya que el grado de calor generado no depende directamente de que sea pulsado o continuo. En realidad depende de la potencia que el paciente recibe y, aunque con frecuencia con el continuo se aplica más potencia que con el pulsado, perfectamente puede darse el caso en que el pulsado deposite más potencia que el continuo. *Esto es aplicable a todas la técnicas que se pueden regular en continuo y en pulsado*. Debe recordarse que:

$$W_{ef} = W_p \cdot t_p \cdot F_{Hz}$$

En general se van a distinguir cuatro modalidades fundamentales en cuanto a su frecuencia de emisión, lo cual influye en la metodología de trabajo:

- Entre 0,5 y 1 MHz: transferencia eléctrica capacitativa o tecarterapia basada en las antiguas corrientes de D'Arsonval (propio de la onda media).
- 27 MHz: campo de condensador y campo inductivo (propio de la onda corta).
- 432 MHz: campo de irradiación (propio de la ultracorta).
- 2.450 MHz: campo de irradiación (propio de la microonda).

Se van a encontrar otros métodos con distintos nombres, atendiendo a la nomenclatura creada por el fabricante para asimilarla al diseño específico de los electrodos por él creados.

Campo de condensador

Se consigue cuando dos electrodos se sitúan de forma contralateral en un segmento corporal de manera que la parte conductora de los electrodos no toque al paciente. Se está formando un condensador, cuyo dieléctrico es el segmento corporal del paciente.

La segunda modalidad es propia de la técnica de transferencia eléctrica capacitativa, en que el electrodo manual se desplaza de forma constante por una pequeña zona tratada. El desplazamiento se realiza sobre una crema extendida *ex profeso*. En esta variable, si el electrodo activo está recubierto por capa aislante, se denomina *aplicación capacitativa*. Pero si ambos electrodos son metálicos, se denomina *aplicación resistiva*.

Campo de inducción

Si un segmento corporal es envuelto o rodeado por una bobina, está sometido a un campo de inducción que también genera calor. Inducción electromagnética implica el uso de una técnica basada en bobinas.

Campo de turbulencia electromagnética

El campo de turbulencia electromagnética en realidad es un campo de inducción, pero por aproximación de una bobina en sentido transversal a la zona tratada.

Campo de irradiación

Es el campo de ondas emitidas por una antena (normalmente, muy direccional) que se dirige al organismo para generar calor dentro de éste.

Dosificación de alta frecuencia

Se remite al lector al apartado «Dosis de alta frecuencia», en el cap. 13. Es en exceso complejo el control de la energía aplicada o recibida tanto en onda corta como en microonda (termoterapia profunda). Por ello, no queda otra opción que acudir a la percepción térmica del paciente siempre que su sistema nervioso sensitivo se encuentre intacto (Tabla 4-1).

ULTRASONOTERAPIA

De manera indistinta puede usarse la expresión «ultrasonido» o «ultrasonidos», pues, dependiendo del contexto, unas veces se empleará en singular y otras en plural. La sigla que lo representa es US.

Se emplea en modo continuo y en modo pulsado o pulsátil. Considerar que el modo pulsado es atérmico es un error porque, como se explica en alta frecuencia, el modo pulsado puede aplicar más potencia eficaz que el continuo.

Antes de avanzar, debe aclararse que los ultrasonidos no forman parte del espectro elec-

Tabla 4-1. Grados de dosificación para radiofrecuencia o termoterapia profunda

Grado I	Subliminal	El paciente no percibe calor	Atérmica
Grado II	Ligeramente supraliminal	El paciente percibe algo de calor	Térmica supraliminal
Grado III	Claramente supraliminal	El paciente percibe claramente el calor	Térmica moderada
Grado IV	Claramente supraliminal	El paciente percibe intensamente el calor	Térmica intensa
Grado V	Intensamente supraliminal	El paciente percibe dolor por el calor	Térmica quemante

tromagnético. Pertenecen a su propio espectro, el sonoro. No son energía electromagnética, son energía mecánica. Aunque se hace referencia a ellos como *radiación* ultrasónica, en realidad *no es una radiación* porque no pueden transmitirse por el vacío. *Es más correcto tratarlos de emisión ultrasónica.*

Frecuencia ultrasónica

Las frecuencias que se tienden a estandarizar en fisioterapia son las de 1 MHz y 3 MHz. Los antiguos equipos solían trabajar por debajo de 1 MHz. Algunos de reciente fabricación no se ajustan exactamente a 1 o 3 MHz.

Cuando se lee que hay ultrasonidos que emiten alrededor de 30 kHz, son específicos para la dispersión de la grasa y se emplean en fisioestética.

Asimismo, puede desplazarse el cabezal de manera constante (aplicación en modalidad dinámica) o a cabezal fijo (aplicación estática). La aplicación estática requiere ciertos cuidados para evitar el efecto de cavitación. La aplicación semiestacionaria (un rato dinámica y un rato estática) no debe llevarse a cabo porque no permite controlar la dosis con la debida precisión.

La frecuencia de pulsado se mantiene de forma predominante entre 50 y/o 100 Hz. Algunos equipos tantean y ofrecen otras basadas en sus aportaciones investigadoras.

Regulación de potencia

No procede usar la expresión intensidad cuando el US emite en potencia, es decir, en W y no en A. La potencia es un parámetro importante en la dosificación. Por regla general, se ajusta en potencia por cada cm^2 del cabezal (W/cm^2) o potencia en todo el cabezal (W). El concepto de W/cm^2 es importante mantenerlo ya que es independiente del tamaño del cabezal utilizado. La potencia expresada en W depende del tamaño del cabezal.

La potencia no es la dosis de los ultrasonidos.

La potencia emitida en ambos sistemas está condicionada por la modalidad de emisión (continua o pulsada). Cuando se trabaja en modo continuo, la potencia coincide con la señalada, pero cuando se ajusta a modo pulsado, se ve modificada a la baja por las interrupciones o reposos introducidos entre los pulsos.

Al trabajar en modo pulsado, los equipos deberán indicar la potencia eficaz emitida por todo el cabezal (W_e).

Los fabricantes informan de la potencia de pico y de las características del sistema pulsado que utilizan, aportando información suficiente como para hallar la potencia eficaz, pero cada uno lo hace de forma diferente. En general, se suelen encontrar las metodologías aritméticas que se detallan a continuación. De izquierda a derecha en la [tabla 4-2](#) se encuentran:

- razón aritmética pulso:reposo (*duty cycle*),
- fracción entre pulso/período,
- los tiempos de pulso:reposo (*time ratio*) y
- el porcentaje directo en que se queda la potencia.

El sistema que aporta más información con dos cifras indica los tiempos ocupados por el pulso y el reposo (*time ratio*) ya que éste lleva implícita la información de la frecuencia en que trabaja el pulsado. Sin embargo, cualquiera de los tres sistemas restantes de nomenclatura (porcentaje directo, razón aritmética [*duty cycle*] y fracción) deben añadir la cifra de la frecuencia de pulsado. El de uso más fácil y más adaptado a las formulaciones para dosificar será el de fracción.

Esto es importante para dosificar de manera adecuada siempre que se considere la dosis en ultrasonidos como la cantidad de energía de-

Tabla 4-2. Los cuatro sistemas aritméticos más usados para expresar los parámetros de ultrasonido pulsado

Razón pulso: reposo	Fracción entre pulso/periodo	100 Hz (10 ms) t. pulso: tiempo de reposo	50 Hz (20 ms) t. pulso: tiempo de reposo	Porcentaje de potencia (%)
1:1	1/2	5:5	10:10	50
1:2	1/3	3,5:6,5	6:14	33
1:3	1/4	2,5:7,5	5:15	25
1:4	1/5	2:8	4:16	20
1:5	1/6	1,5:8,5	3:17	16
1:8	1/9	1:9	2:18	11
1:10	1/11	0,9:9,1	1,5:18,5	9
1:20	1/21	0,5:9,5	1:19	5

positada en cada cm^2 de la superficie corporal tratada.

Dosis en ultrasonoterapia

Puesto que la complejidad de este tema requiere un razonamiento exhaustivo, lo mejor es describirlo en detalle (v. cap. 15), pero en este caso conviene aclarar que la potencia en W/cm^2 no es la dosis ni lo es tampoco el tiempo de la sesión.

Detector ultrasónico

Dado que los cabezales sufren golpes, envejecen y pierden de manera progresiva sus cualidades, los fabricantes debieran añadir a los equipos un *detector medidor de potencia real* del haz ultrasónico. Esto será fundamental a la hora de dosificar con precisión, pues todo equipo que no disponga de dicho sistema (con forma y diseño eficaz) no debiera estar homologado.

BNR del cabezal

El BNR (*beam non-uniformity ratio*) hace referencia a la homogeneidad o, mejor dicho,

a la *no homogeneidad de emisión* de las ondas ultrasónicas por el cabezal, de manera que un cabezal puede emitir un haz muy potente por el centro geométrico y perder mucho por los bordes, en tanto que otros emiten las ondas de forma muy repartida, es decir, el haz del centro se ha reducido para repartirse por los bordes. Así, si por el centro se emite el doble que por el borde, se afirmará que se tiene un BNR de 2:1 o de 2; si por el centro se emite el triple que por los bordes, se tendrá un BNR de 3:1 o de 3, y si por el centro se emitiera la misma potencia que por los bordes, se tendría un BNR de 1:1 o de 1 (situación ideal, pero no real).

En ultrasonoterapia se admite como bueno un BNR de hasta 5:1 (o de 5). Se buscará esta información impresa en los cabezales y se tratará de usar los de razón más baja; lo ideal sería 1:1.

Cuando el BNR es alto, hay que tener mucho cuidado con las aplicaciones con cabezal fijo para no dañar los tejidos coincidentes con el centro del haz.

INFRARROJOS

Se remite al lector al capítulo 16. La técnica de aplicación de rayos infrarrojos (IRA o IR-A)

normalmente se practica con lámparas que emiten en un amplio espectro electromagnético, pero su mayor potencia se centra en los infrarrojos de tipo A, es decir, los más próximos al rojo visible. Así pues, cuando se haga referencia a la aplicación de infrarrojos estándar (no en metodología láser), deberá concretarse si se trata de los IR de tipo A o los térmicos.

El sistema de dosificación peca de graves carencias, dado que sólo se considera el tiempo de la sesión de forma empírica y mientras el paciente se sienta cómodo bajo la lámpara.

Una antigua medida de energía aplicada en infrarrojos se basaba en el pirón. Un pirón es igual a *1 caloría aplicada en 1 cm² durante 1 minuto*.

Si se desea apoyarse en el sistema internacional de unidades y medidas, deberá aplicarse el segundo en los cálculos con fórmulas en lugar de minutos aunque la práctica diaria lleva a pensar en minutos para el tiempo de sesión, de manera que cuando se obtiene en segundos debe pasarse a minutos por cuestiones prácticas.

La banda de emisión se localiza alrededor de los 1.000 nm de longitud de onda (en esta banda del espectro por lo general se trabaja con longitudes de onda en lugar de frecuencias).

LÁSER

La técnica de láser se denomina así por proceder de una sigla que abrevia la expresión: *luz amplificada y (s)estimulada por emisión de radiación*. Esta sigla se ha convertido en un sustantivo y, en general, se escribe como *láser*.

La energía que se aplica al paciente no es otra cosa que simple luz, pero el sistema tecnológico que la genera es diferente a lo habitual

La luz generada por el láser es muy potente, de un solo color y su potencia se puede manejar y ajustar con precisión.

(sistema láser). Asimismo, la luz generada posee diferencias con la luz conseguida por otros métodos.

En fisioterapia, básicamente, se usan dos sistemas de generación de láser: láser generado en gases o de cañón y láser generado por diodos semiconductores.

En la tecnología de gas se dispone del láser de helio-neón (HeNe) o de CO₂. Se generan en un tubo que contiene los gases y que, debido a la construcción de la carcasa que lo contiene, se ha dado en llamar «de cañón».

En la tecnología de diodo, arseniuro de galio, teluro de cinc, neodimio-YAG (*neodymium-doped yttrium aluminium garnet*) y otros se generan pulsos de luz en la banda de infrarrojos. En general se aplica mediante un cabezal que se fija sobre el paciente.

Están apareciendo diodos que emiten en modo continuo (ya no es regla general del modo pulsado) y tampoco se requiere el cabezal, pues se irradia en forma de haz cónico sobre el paciente.

El láser de CO₂ es continuo (puede convertirse en pulsado), de elevada potencia y térmico. Si se deja en un punto, quema al paciente. Por ello, siempre se aplicará en barridos amplios.

Dosis en laserterapia

Respecto a los sistemas de dosificación, la mayor controversia se encuentra en la nomenclatura. La dosis siempre debe expresarse en J/cm² de la piel en el paciente, también denominada *densidad de energía*.

Según la potencia, la sesión será más larga o más corta. Si se aplica un exceso de potencia, el paciente siente que el rayo le quema. Este parámetro se utiliza en W.

La superficie en el paciente depende de nuestros deseos y se expresa en cm².

El tiempo será la incógnita que se adecuará a los demás parámetros decididos o ajustados (tiempo en s). Los equipos que basan sus ajus-

res en el tiempo sin considerar o indicar la energía recibida por el paciente al concluir la sesión no debieran usarse porque provocan errores. La fórmula de dosificación del láser se encuentra en el capítulo 17.

En el caso de láser pulsado o pulsátil (por lo general, de diodo), debe calcularse previamente la potencia eficaz, la cual depende de:

$$W_{ef} = W_p \cdot t_p \cdot F_{Hz} \cdot 1 s$$

MAGNETOTERAPIA

Puede encontrarse un choque de nomenclatura cuando se hace referencia a pulsos magnéticos no alternos, es decir, cuando se mantiene la polaridad. Pueden denominarse *pulsos monofásicos* o *pulsos monopolares*. Para no coincidir con la aplicación de electrodos «monopolares», sería mejor reservar la expresión «pulsos monofásicos», es decir, la fase del polo norte o la fase del polo sur.

En magnetoterapia, las mayores dificultades de nomenclatura y de conceptos se encuentran a la hora de dosificar o medir el campo magnético aplicado ya que éste se mide de diversas formas: la intensidad de flujo magnético, el flujo magnético, la densidad de líneas por unidad de superficie, la fuerza magnetomotriz y alguna más.

Además, se encuentran siguiendo la nomenclatura del sistema internacional de medidas (SIM o SI) y del sistema cegesimal (CGS).

Normalmente se mide la densidad de líneas de fuerza magnética por unidad de superficie, es decir, se miden las líneas que cruzan un plano al cual se le atribuye una superficie de 1 m² para el tesla (en el SIM) y de 1 cm² para el gauss (en el sistema CGS) en 1 s.

Las unidades de flujo magnético son el wéber (Wb) para el SIM y el máxwell para el CGS:

- 1 wéber/1 m² = 1 tesla.
- 1 máxwell/1 cm² = 1 gauss.
- 1 wéber = 1 máxwell · 10⁻⁸.

Hay aparatos que solicitan el ajuste en gauss y otros en militeslas, y el problema se produce con la consiguiente confusión en la equivalencia entre ambos sistemas, es decir:

- Se supone 1 gauss en 1 cm².
- Se supone 1 tesla en 1 m².
- 1 m² = 100 · 100 cm² = 10.000 cm².
- Así pues, 1 tesla es 10.000 veces mayor que 1 gauss.
- Así, 1 tesla = 10.000 gauss.
- 10.000 gauss (1 tesla)/1.000 = 10 gauss.
- Entonces (en este caso), 1 mT = 10 gauss.

Como se sabe que los militeslas son diez veces mayores que los gauss, para convertir un valor al otro se llevará a cabo la siguiente operación:

- Gauss/10 = mT
- mT · 10 = gauss.

Nunca debe olvidarse que los múltiplos y divisores del tesla están en relación con el m², en tanto que los múltiplos y divisores del gauss lo están en relación con el cm².

Además, no es lo mismo medir los gauss en un pico u onda que pueda durar 10 ms que medir los gauss eficaces, teniendo en cuenta el número de pulsos magnéticos por segundo (o en modo continuo). Los fabricantes debieran informar de esta circunstancia para saber si se trabaja con gauss de pico o con gauss eficaces.

BIOFEEDBACK

La expresión *biofeedback* se refiere a todos aquellos métodos que son capaces de captar funciones biológicas no controlables o no voluntarias y transformarlas en información objetivable al paciente y al terapeuta.

La expresión *miiofeedback* se refiere a la captación de los potenciales eléctricos que gene-

ran los músculos al contraerse o con su simple tono muscular, para objetivarlos y presentárselos al paciente y al terapeuta.

Esta información o *feedback* sirve al paciente para modular esas funciones o esfuerzos

y reentrenarlos de acuerdo con nuestros objetivos terapéuticos (v. cap. 18).



Autoevaluación

Material complementario en el sitio web

- Autoevaluación





5

Galvanismo

Contenido

- Corriente galvánica y diferencia entre electrólisis y electroforesis
- Análisis detallado de la corriente galvánica, su generación y sus efectos polares e interpolares
- Comportamiento resistivo del organismo ante la corriente galvánica
- Qué es el componente galvánico y cómo se halla

Objetivos de aprendizaje

- Comprender los conceptos básicos sobre la corriente galvánica y su actuación en el organismo por electrólisis y por electroforesis.
- Dominar el sistema de dosificación y evitar riesgos sobre los pacientes.
- Asimilar el concepto de componente galvánico y aprender a aplicarlo para evitar quemaduras en los pacientes.
- Comprender y experimentar el comportamiento resistivo del organismo frente a esta corriente.

Síntesis conceptual

- ✓ Este capítulo profundiza en la corriente galvánica, sobre todo según el punto de vista electrofísico y electroquímico, referido a su influencia sobre el organismo humano. En los dos capítulos siguientes se profundizará en las técnicas fisioterápicas con corriente galvánica y galvánicas interrumpidas.
- ✓ Dada la complejidad de la dosificación, se insiste en ella y se proponen metodologías de dosificación. Se llevan a cabo análisis del comportamiento corporal con aparatos.
- ✓ Se exponen los efectos biológicos del galvanismo, sus cuidados y precauciones.
- ✓ Se plantea el tema de las corrientes galvánicas interrumpidas y su componente galvánico para dosificarlas con precisión y evitar quemaduras.

INTRODUCCIÓN AL GALVANISMO

Antes de entrar en el estudio y la aplicación de la corriente galvánica, hay que detenerse en un somero análisis de la composición de la materia viva.

La materia viva, por lo que se refiere al tema del galvanismo, está formada por células, tejidos y líquidos que contienen en disolución una amplia gama de sustancias y elementos químicos en forma de iones, moléculas y partículas en suspensión con carga eléctrica:

- células,
- agrupaciones de células en tejidos,
- disoluciones y
- dispersiones coloidales.

La célula, a su vez, está repleta de disoluciones en su interior y aparece rodeada de disoluciones en su exterior, y este hecho es extensivo a todos los tejidos.

En definitiva, la materia viva está compuesta por disoluciones y dispersiones separadas por membranas selectivamente permeables que generan gradientes o desequilibrios entre las proporciones de las distintas disoluciones próximas entre sí: presión osmótica, presión

oncótica, diferencia de potencial eléctrico, nivel de polarización, etcétera.

A causa de estos desequilibrios, de manera constante se producen reacciones químicas, nuevos diferenciales eléctricos e intercambio de iones, cuyo comportamiento tiene su origen en el constante intento de reequilibrar diferencias eléctricas o químicas, que cumplen leyes metabólicas.

Se sabe que, en una disolución, los iones (átomos con carga eléctrica) se dispersan por el medio y se asocian con otros próximos debido a las cargas eléctricas existentes entre ellos (pues se atraen, se rechazan o se orientan; Fig. 5-1). Sin embargo, ¿qué sucede cuando los iones están sometidos a una fuerza eléctrica mayor que la de sus iones vecinos?

Lógicamente, emigran a través del disolvente que los sustenta hacia la fuerza eléctrica que los atrae o repele (de polaridad distinta a la del ion si son atraídos o de la misma si son repelidos; Fig. 5-2).

Estos fenómenos reciben el nombre de *electroforesis* y se aprovechan para producir una serie de efectos en el organismo que se van a describir a continuación.

En el organismo humano se encuentran muchas disoluciones que están separadas del

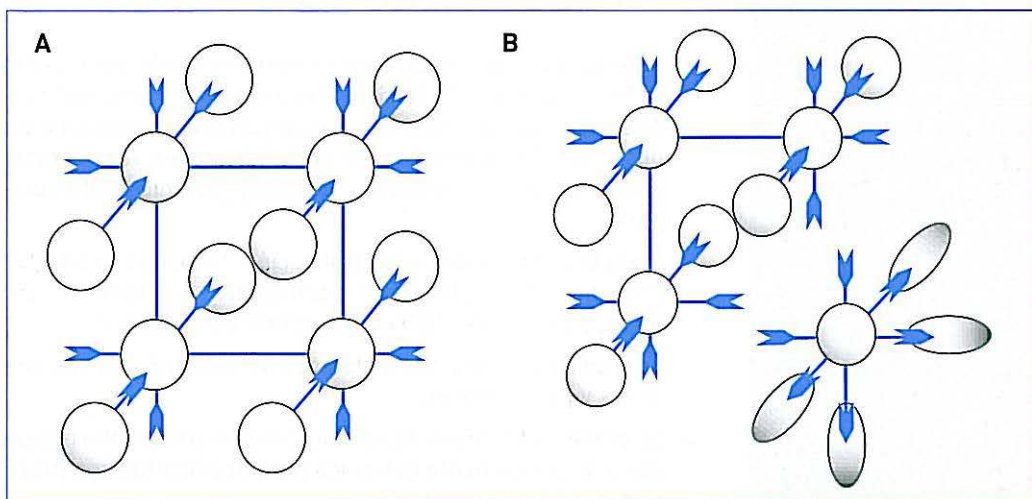


Figura 5-1. A) Tendencia a la cohesión. B) Tendencia a la dispersión.

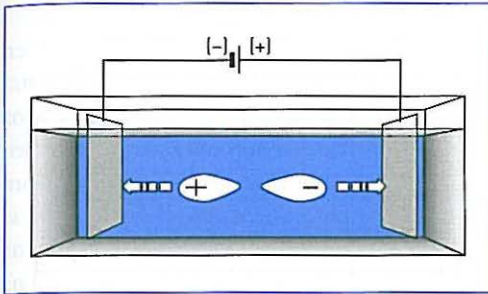


Figura 5-2. Cuando los iones son atraídos por fuerzas eléctricas externas, se ven obligados a desplazarse hacia el electrodo de polaridad contraria.

exterior por la gran membrana que es la piel, como: plasma sanguíneo, líquido intersticial, líquidos intracelulares, líquido cefalorraquídeo, líquido sinovial, jugos gástricos, orina, hormonas, etcétera.

El cuerpo humano (materia viva animal) es una disolución que, además de los complejos proteínicos, contiene, fundamentalmente:

- sales (las más abundantes),
- ácidos y
- bases.

Estas sustancias pueden llegar a ser disociadas de forma química tras someterlas a una corriente de flujo constante, sin cambios de polaridad y superior a las fuerzas de cohesión iónicas y moleculares: corriente continua o galvánica, mejor que corriente directa (Fig. 5-3).

Esta disociación de sustancias logra que la materia viva se comporte como un *conductor de*

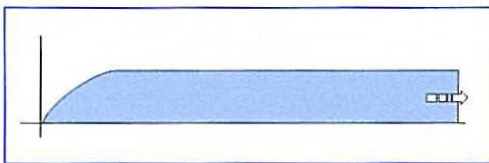


Figura 5-3. La corriente galvánica se representa por una línea mantenida durante toda la sesión, pero con un ascenso y descenso suaves para evitar respuestas motoras.

segundo orden—donde se manifiestan cambios químicos—, al contrario de lo que ocurre con los *conductores de primer orden*—que no manifiestan cambios químicos—, como los metales.

Hay que aplicar al organismo humano la corriente eléctrica de que se está tratando, para la técnica de galvanización, a través de la piel y con dos electrodos: *ánodo* y *cátodo*.

- El *ánodo de carga positiva* [+] succiona electrones de la disolución por defecto en el electrodo.
- El *cátodo de carga negativa* [-] deposita electrones en la disolución por exceso en el electrodo.

¡Atención a la siguiente circunstancia!: *anión* y *cation* derivan de ánodo y cátodo, respectivamente, pero el anión presenta polaridad opuesta al ánodo y el cation presenta polaridad opuesta al cátodo. En realidad, los iones reciben el prefijo del nombre del electrodo al cual se aproximan:

- Al ánodo [+] llegan los aniones de polaridad contraria con carga [-].
- Al cátodo [-] llegan los cationes de polaridad contraria con carga [+].
- El ánodo [+] repele a los cationes de igual polaridad con carga [+].
- El cátodo [-] repele a los aniones de igual polaridad con carga [-].

Deben tenerse bien claras estas interrelaciones entre los electrodos y los iones y dominarlas ya que pueden generar cierta confusión y, ante un error, provocar el efecto terapéutico contrario al deseado.

Cuando los iones alcanzan su electrodo correspondiente, unos cederán electrones al electrodo (ánodo) y dejarán de ser iones, mientras que los otros tomarán electrones del electrodo (cátodo) y también perderán su condición de iones de manera que se establece un movimiento constante de electrones, medible como *corriente eléctrica* en mA y en mW (en 1 s) o en

J si se tiene en cuenta el tiempo de sesión. No puede olvidarse que dicho desplazamiento de iones también genera calor.

Diferencia entre electrólisis y electroforesis

Cuando los iones consiguen entrar en contacto directo con el electrodo sumergido en la disolución, los distintos iones ceden o toman electrones de éste, pierden su carga eléctrica, cambian sus características físicas y se adhieren al electrodo: se ha conseguido la *electrólisis* de una sustancia determinada.

En cambio, poner en movimiento o provocar la concentración de iones en las proximidades de los electrodos, antes de entrar en contacto, produce el fenómeno propio de la *electroforesis* (Fig. 5-4). Ello se pone de manifiesto si se mide el pH de una disolución (cerca de cada electrodo) cuando circula por ella la corriente galvánica.



Vídeo 5-1. pH del agua

Por regla general se pretende provocar este efecto de forsis o electroforesis cuando se aplica el galvanismo.

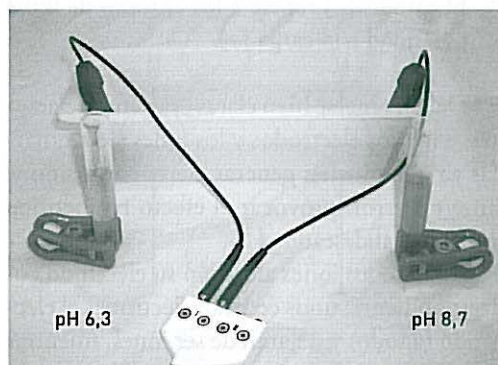


Figura 5-4. Se toman muestras cerca de cada electrodo en la disolución sometida al paso de corriente galvánica. Si se lee el pH de cada muestra, puede observarse cómo se modifica hacia ácido o hacia básico en el [+] y en el [-], respectivamente.

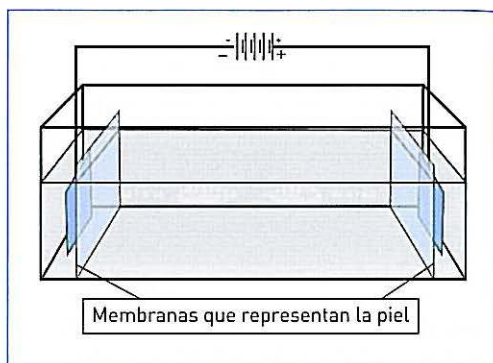


Figura 5-5. Las membranas representan la piel entre el interior orgánico y la gamuza humedecida. Las porciones de disolución externa a las membranas representan las gamuzas de los electrodos.

La piel y la esponjilla humedecida actuarán de barrera para evitar la electrólisis en los electrodos metálicos o de goma; en cambio, se conseguirá concentración iónica y electroforesis (Fig. 5-5).



Práctica experimental

- Tome una cubeta en que se vierta agua destilada. Se sitúan dos electrodos en cada extremo. Se hace pasar por ellos una corriente galvánica.
- Se observará que la energía eléctrica no pasa o lo hace con excesiva dificultad. El aparato indicará mala conducción o problemas en el circuito (sobre todo si trabaja en corriente constante [CC]).
- Con una cuchara echar en el agua sal común (una o dos cucharadas).
- Se observará como ello permite elevar la intensidad y comienza el paso de energía a medida que se van disociando los iones en el disolvente (el agua).
- Esto demuestra que los iones en realidad conducen la energía eléctrica.
- Si esta prueba se realiza con corrientes alternas o pulsantes, los resultados son diferentes. Tan sólo debe usarse corriente galvánica.

Los espacios situados detrás de las membranas (y que contienen los electrodos) representan la gamuza humedecida, que actúa como continuación de la disolución orgánica. Podría resumirse afirmando que la electroforesis es el movimiento de los iones camino de completar la electrólisis. Si se puede medir el paso de energía en mA, se está realizando la electrólisis en los electrodos y sus gamuzas.

Sentido del movimiento de la energía eléctrica en las disoluciones

En la figura 5-6 también se pretende explicar el sentido de la corriente eléctrica de manera que:

- La energía emerge por el polo $[-]$ del generador y emite electrones.
- Estos electrones llegan al electrodo (cátodo), que se los cederá al catión vacío de carga cuando se acerque al electrodo.
- De manera simultánea, el anión (repleto de electrones) se dirige hacia el ánodo para cederle los que lleva en exceso (su carga).
- El electrodo ánodo los devuelve al generador por el polo $[+]$ para que el generador los haga circular de nuevo.

Dentro de la disolución, podría afirmarse que las cargas se dirigen en doble sentido ($[+]$ hacia un lado y $[-]$ hacia el otro), pero en la resultante

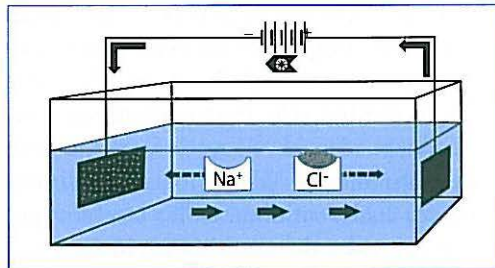


Figura 5-6. Los iones Na^+ emigran hacia el $[-]$. Los iones Cl^- emigran hacia el $[+]$. El Cl va cargado de electrones para depositarlos en el electrodo $[+]$. El Na va a recibir electrones del electrodo $[-]$.

(Fig. 5-6) entran por la izquierda y salen, en la misma proporción, por la derecha. Así pues, este circuito tiene un sentido de corriente contrario a las agujas del reloj.

Según el tipo de nomenclatura se considera el sentido de la corriente de $[+]$ a $[-]$, pero según el punto de vista de la fisioterapia y por los efectos electroquímicos de la corriente galvánica, debe considerarse como se describe en este caso.

Fenómenos químicos del galvanismo

Esto último introduce de lleno el tema en los efectos de la corriente galvánica sobre el organismo y, para comprenderlo, se recordará una reacción electrolítica muy clásica y habitual dentro de éste.

Si se disuelve en agua una de las variadas sales que se hallan en las disoluciones orgánicas, tomando como ejemplo el cloruro sódico (ClNa), al entrar en contacto con el agua como disolvente la sal se disocia en iones Cl^- y Na^+ para acoplarse a la polaridad de las moléculas de agua (dipolos eléctricos) u otras moléculas e iones de signo eléctrico opuesto. Sin embargo, si se aplica una corriente galvánica con electrodos inertes (electrodos que no sufren cambios químicos al ser sometidos a corriente eléctrica), se rompen los enlaces de los iones con las moléculas de agua para que los Cl^- se desplacen hasta el ánodo y los Na^+ hasta el cátodo, donde, por ejemplo, se producen las siguientes reacciones electrolíticas (Fig. 5-6): oxidación bajo el ánodo y reducción bajo el cátodo.

Oxidación bajo el ánodo

- Los aniones $[-]$ tienden a reaccionar con el oxígeno con otros elementos o con el electrodo ánodo, haciendo que el componente resultante pierda electrones.
- Los electrones abandonan por el electrodo la disolución y al ion que los contiene.
- En el ánodo, los iones Cl^- se convertirán en moléculas de cloro en forma de gas (Cl_2) + $2e^-$: $2\text{Cl}^- \Rightarrow \text{Cl}_2 (\text{gas}) + 2e^-$.

Reducción bajo el cátodo

- Los cationes $[+]$ al reaccionar con determinados elementos o frente al electrodo cátodo sufren un aumento de electrones.
- Los electrones penetran a través del electrodo en la disolución y se asocian con los iones.
- En el cátodo, cada ion Na^+ toma un electrón del electrodo para reducirse a elemento sodio (Na): $[\text{Na}^+ + 1e^- \Rightarrow \text{Na} (\text{sólido})]$, que se deposita en el electrodo.

Más adelante se describe cómo dentro del organismo, tanto en el ánodo como en el cátodo, esto no puede suceder, ya que conduciría a quemaduras electroquímicas.

5

Las reacciones y cambios químicos que se producen en disoluciones y dispersiones complejas, como en el caso del organismo humano, son muy variadas, muchas desconocidas y, a veces, inesperadas. Dado que una de las razones que influyen en ello es el voltaje más que la intensidad de la corriente aplicada, el voltaje será el generador de la fuerza que provoca el movimiento de los iones o la rotura de las moléculas complejas (fuerza electromotriz). Además, los equipos de galvanismo trabajan en intensidad constante e informan sólo de la intensidad. No hay que apoyarse únicamente en la información de la corriente o intensidad en mA, sino que también deben conocerse los voltios.

En general, puede afirmarse que, cuanto menor sea la intensidad, menor será el voltaje, pero éste depende de la resistencia del circuito de aplicación para obtener y trabajar con la potencia, la cual, si es lo suficientemente débil a su paso por la disolución, presentará situaciones de interfase, en las cuales reaccionan unos iones con otros y producen nuevos compuestos. Sin embargo, si la potencia es alta y la «presión para moverse» de los iones también lo es, se crea una situación que impide las zonas de interfase y se pueden acelerar reacciones no deseadas en el organismo.

Es normal utilizar la ley de Faraday para calcular y comprender los efectos del galvanismo, aunque esta ley sólo considera el número de electrones que circulan por un circuito, pero, si se desconoce cuál es la fuerza electromotriz, tampoco podrá saberse sobre qué sustancias, moléculas o iones se ha actuado, a no ser que sean los únicos en la disolución.

Ante varias posibles reacciones electroforéticas, primero se realizará la que menos energía o fuerza electromotriz requiera y se mantendrá de manera simultánea la tendencia al máximo desorden.

Así pues, en una *electroforesis* con poca potencia ($V \cdot I$) no se acumulan gran cantidad de iones del mismo signo en las proximidades de cada electrodo, sino que, al ir reaccionando, se transforman en otros iones o moléculas de signo opuesto que inician la emigración hacia el polo opuesto, circunstancia ésta normalmente deseada y que debe tenerse en cuenta cuando se apliquen tratamientos con galvanismo. Este fenómeno genera un aumento circulatorio y se mantiene después de haber retirado la aplicación; es el denominado *efecto trofovascular*.

Reacciones electroforéticas

Otro de los factores que debe considerarse en las reacciones electrolíticas y electroforéticas es la *toxicidad de los electrodos* empleados porque, si los electrodos son inertes, como es el caso de electrodos de grafito, las reacciones se limitarán a captar y ceder electrones, además de permitir el depósito de metales sobre ellos. En cambio, si los electrodos, por su composición, pueden reaccionar de forma química y descomponerse, cederán iones a la disolución, los cuales influirán en los cambios químicos ocurridos dentro de ésta e, incluso, podrían ser tóxicos para el organismo humano. El plomo o el estaño son dos ejemplos.

Por ello es importante saber e intentar utilizar los electrodos que interesen en cada caso o,

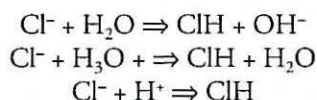
como mínimo, emplear bastante gamuza humedecida entre el metal y la piel para que ésta absorba la mayoría de los iones procedentes del electrodo, susceptibles de toxicidad. *Asimismo, las gamuzas tienen que estar limpias y libres de contaminaciones varias.*

Según se ha descrito con anterioridad, no se deben producir dentro del organismo reacciones químicas que conduzcan a elementos o moléculas inertes (libres) o eléctricamente neutros, como el átomo de sodio sólido o el cloro gas, ya que siempre tienen que hallarse dentro de las disoluciones en forma de iones o compuestos moleculares con polaridad eléctrica. Por esta razón, el ClNa tiene que reaccionar con el H_2O antes que con el electrodo.

Se partirá de una premisa. En las disoluciones acuosas, la molécula de agua se halla en su fórmula de H_2O típica y en forma ionizada, es decir, la de un ion hidronio (H_3O^+) + un oxidrilo (OH^-) o la de un ion (H^+) + (OH^-). Según esto, se pueden producir varias circunstancias bajo el ánodo y bajo el cátodo.

Bajo el ánodo [+]

En el ánodo, las tres formas de la molécula de agua se combinarán de la siguiente manera:



Si la potencia aplicada —teniendo en cuenta el mayor o menor voltaje o la fuerza electromotriz— es suficientemente débil, permitirá que, a partir de determinada acumulación de ácido, éste sea apartado de la zona, atraído por los dipolos de agua hacia una zona de interfase, donde de nuevo volverá a disociarse en iones Cl^- para formar una sal con otro radical metálico.

Si la potencia es alta, se elevará en exceso la concentración de ácidos para producir un pH tan bajo que atacará a la materia orgánica y la destruirá en forma de quemadura química ácida.

Si los oxidrillos se acumulan de manera excesiva en las proximidades del ánodo, presentarán la propiedad de ser poco solubles.

Además, varias sales orgánicas están formadas por iones cloruros, sulfuros, sulfatos, fosfatos, nitratos, etc., con lo que se corre el riesgo de que su concentración sea tan alta que se precipiten y se vuelvan insolubles o coagulados, irriten las terminaciones nerviosas y provoquen síntomas de dolor e inflamación. Por ello, en el ánodo se manifiesta mayor sensación de molestia cuando se aplica corriente galvánica (y, según avanza la sesión, aumenta de manera progresiva la sensación de malestar).

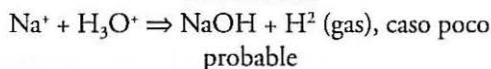
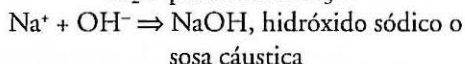
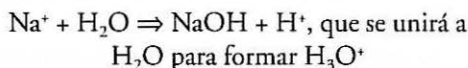


Práctica experimental

- Prepare dos electrodos de igual tamaño. Se mide la superficie de la gamuza de uno de ellos (si fueran diferentes, debe tomarse la del más pequeño). Se fijan de forma contralateral sobre una zona corporal (p. ej., a ambos lados de una rodilla).
- Se hace pasar una corriente galvánica pura con intensidad que coincida con el producto de multiplicar la superficie por 0,1 o 0,15 mA/cm^2 . Se espera unos 5 minutos. Se observan sensaciones.
- Pueden aparecer sensaciones de calor, hormigueo, escozor, frío, quemazón, dolor e, incluso, ninguna percepción eléctrica.
- Este experimento consiste en observar la evolución de las sensaciones bajo el [+]. Lo normal es notar de forma progresiva un aumento de escozor, quemazón o, incluso, dolor. Ello se debe a la acumulación progresiva de aniones irritantes con carga [-].
- Si la molestia se manifiesta como quemazón sobre la piel y puntual, hay que revisar la aplicación por posible escarificación de la piel y el consiguiente riesgo de quemadura puntual. Si el dolor es punzante y profundo, indica un proceso de cierta enfermedad que se manifiesta por el efecto de galvanopalpación. En este caso se mantiene la aplicación. Si la sensación de escozor o quemazón se produce en el [+], se está ante el efecto deseado en el experimento.

Bajo el cátodo [-]

Si se consideran las tres formas de la molécula de agua, al igual que en el ánodo, en el cátodo se combinará como sigue:



La sosa cáustica, por un lado, más los iones hidrógeno (protón) y agua ionizada (hidronio), por el otro, que se pueden combinar con otros elementos o partículas que presenten valencia [-], van a crear un medio alcalino abundante en radicales de metales alcalinos importantes para el metabolismo celular (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , pH alto, abundancia de agua, sin precipitados, disolución de precipitados ácidos, etc.). Éstos convierten a la zona próxima al electrodo en un medio intersticial más favorable que las cercanías del ánodo.

La cantidad de potencia aplicada vuelve a ser un factor importante en este electrodo, ya que si es alta acumulará en la zona exceso de hidróxidos con su correspondiente acción destructora sobre los tejidos, mientras que si es la adecuada se permitirá que los hidróxidos (tras alcanzar un nivel de concentración) emigren hacia una zona de interfase donde se disolverán de nuevo.

En la llamada zona de interfase se redistribuyen y se disuelven de nuevo los elementos o moléculas formadas en las proximidades de los electrodos (obligadas por las fuerzas eléctricas del disolvente), y disminuyen (a causa de la distancia) las fuerzas eléctricas de los electrodos, de forma inversa al cuadrado de la distancia. Por lo expuesto, las fuerzas eléctricas procedentes de los dipolos de las moléculas de agua y otros solutos retoman el protagonismo,

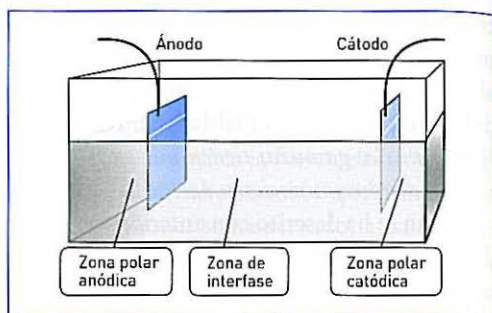


Figura 5-7. En la zona de interfase se produce el efecto trofovascular retrasado durante la sesión y horas después de la sesión.

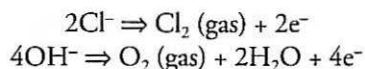
situación que acelera los cambios iónicos y el metabolismo de la zona, propio de lo que después se denominarán efectos interpolares del galvanismo (Fig. 5-7).

Reacciones de electrólisis

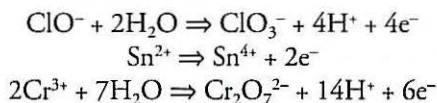
A título de ejemplo, se presentan algunas reacciones típicas de electrólisis (no de electroforesis) que se producen en cada electrodo y siempre en cubetas de ensayo:

- En el ánodo:

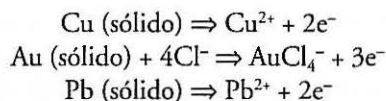
- Oxidación de un anión a elemento libre:



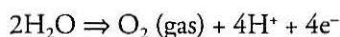
- Oxidación de un anión o un catión a otras especies en disolución:



- Oxidación de un ánodo metálico:

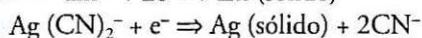
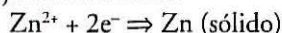


- Oxidación del agua:

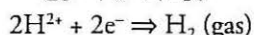
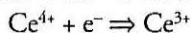
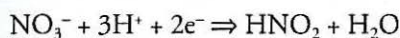


- En el cátodo:

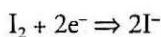
- Reducción de cationes o de aniones complejos a metal libre:



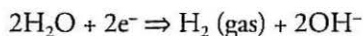
- Reducción de un anión o de un catión:



- Reducción de un elemento no metálico a anión:



- Reducción del agua:



Éstos son ejemplos típicos de la química que se recuerdan del bachillerato más que de las reacciones propias que se realizan dentro del organismo, pero son suficientes para indicar la complejidad de dichas reacciones y, hasta cierto punto, sus efectos concretos, ya que al aplicar una corriente galvánica a la materia viva no actúa de manera selectiva sobre determinados iones o partículas ionizadas que pudieran ser de interés, sino que lo hace sobre todos ellos al mismo tiempo, aunque la mayor o menor fuerza electromotriz (voltaje) influirá sobre una, algunas o todas las reacciones posibles.

Si se pone atención en el comportamiento energético bajo el ánodo y bajo el cátodo, es evidente que bajo el ánodo se pierde energía y bajo el cátodo se gana energía. De esta guisa puede compararse el trabajo del cátodo con aplicaciones energéticas de láser, ultrasonidos,

infrarrojos, alta frecuencia térmica, etc., es decir, todas aportan energía aunque no sean electrones, pero son fotones, rayos infrarrojos, energía cinética, etcétera.

Sería interesante comprobar en este momento el epígrafe al final del capítulo acerca de la observación práctica sobre los efectos polares con la corriente galvánica.

Asimismo, no tiene nada que ver la reacción electrolítica en el electrodo con la concentración electroforética en las proximidades. Si se trata de identificar lo ocurrido en una cubeta de ensayo con el interior orgánico, se estará en un error.

Por ejemplo, si se pretende averiguar con electrólisis la polaridad de un medicamento, partiendo de la base de que el electrodo alterado indica la polaridad del radical, casi siempre resultará alterado el cátodo, pues en él se genera la reacción de reducción (fijación en forma de átomo neutralizado) salvo que el elemento alterado se transforme en gas y no se adhiera al electrodo.

En general, se evita el comportamiento electrolítico en el organismo, excepto en algunas técnicas, como la depilación eléctrica con corriente galvánica o electrólisis percutánea intratisular (EPI).

Efectos del galvanismo

Los efectos *electroforéticos* más importantes dentro del organismo se describen a continuación.

Efecto electroforético por disociación iónica

Cuando los iones se sienten impulsados a moverse hacia los electrodos tienen que disociarse de otros elementos o iones, con los cuales se encontraban formando enlaces, de manera que los equilibrios químicos existentes hasta ese momento quedan alterados, es decir, se producen cambios químicos al inicio del desplazamiento iónico.

Efecto de alteración metabólica

Los cambios químicos y los desequilibrios eléctricos que se producen al trasladarse los iones logran que se aceleren o se frenen las reacciones metabólicas que antes pudieran estar poco activas, o que se frenen las muy activas. Cuando menos se alteran.

Efecto de hidrólisis

Cuando se han concentrado elementos químicos nuevos y compuestos no iónicos nuevos cerca de los electrodos, si éstos alcanzan un nivel de concentración alto, son obligados a retroceder a una zona alejada de los electrodos para disolverse de nuevo por la influencia de las moléculas de agua (hidrólisis) y producir así nuevos iones que reemprenderán de inmediato su camino hacia el electrodo de signo contrario a su polaridad.

Efecto de electroósmosis

Consiste en el arrastre de agua, de proteínas u otras sustancias hacia las concentraciones iónicas que se han producido, con su correspondiente carga eléctrica. Este arrastre se debe a la presión oncótica. Estos desplazamientos de elementos no ionizados o grandes micelas (no polarizados de forma eléctrica) se ocasionan con el fin de obtener el óptimo nivel de concentración de sustancias o presión osmótica de todas las moléculas.

Efecto electroforético secundario o trofovascular

Cuando ha finalizado la sesión de tratamiento, se han provocado desequilibrios electroquímicos y metabólicos dentro del organismo que, tras ello y por sí mismos, tenderán a reequilibrarse (a buscar la interfase). Dichos efectos secundarios producen reacciones inversas a las conseguidas con la corriente aplicada por el simple hecho de que los iones intentan volver a su estado metabólico lógico, se mueven de forma lenta y vuelven sobre sus pasos

hasta que se eliminan las concentraciones provocadas, efecto que se lleva a cabo durante las horas siguientes a la sesión. Se pone de manifiesto por el enrojecimiento y el calor generado durante las horas siguientes a la terapia.

Efectos polares

Reciben este calificativo por acentuarse los cambios antes referidos bajo los electrodos (Tabla 5-1).

Tabla 5-1. Efectos polares del galvanismo

Bajo el ánodo	Bajo el cátodo
Reacción ácida	Reacción alcalina
Oxidación	Reducción
pH bajo	pH alto
Liberación de protones (H ⁺)	Liberación de oxidrilos (OH ⁻)
Concentración de aniones no metales [-]	Concentración de cationes metales [+]
Quemadura de tipo ácido	Quemadura alcalina
Coagulación	Licuefacción
Anaforesis, rechazo de los iones [+]	Cataforesis, rechazo de los iones [-]
Vasoconstricción	Vasodilatación
Sedación (!!)	Irritación (!!)
Nivel de polarización de membrana bajo	Nivel de polarización de membrana alto
Actividad metabólica baja	Actividad metabólica alta
Absorción de calor	Liberación de calor
Abundancia de algunos iones [-], como Cl ⁻ , 2Cl ⁻ u OH ⁻	Abundancia de algunos iones [+], como Na ⁺ , Ca ⁺⁺ , K ⁺ o H ₃ O ⁺
Se aplica en procesos de -itis	Se aplica en procesos de -osis

Sedación e irritación se encuentran seguidas de signos de exclamación que indican una llamada de atención, ya que se puede producir el fenómeno inverso, que también se analizará. Asimismo, la «absorción de calor» y la «liberación de calor» son relativas y diferentes en cada paciente a causa de la respuesta fisiológica secundaria.

Todas estas referencias de efectos físicos, químicos, eléctricos y biológicos van a producir una serie de respuestas orgánicas y metabólicas.

Respuestas orgánicas al galvanismo

Estas respuestas pueden producirse:

- A. Sobre el metabolismo.
- B. Sobre el riego circulatorio y linfático.
- C. Sobre el sistema nervioso: reacciones vegetativas, sensitivas, motoras o del sistema nervioso central (SNC).

A. Efectos de respuesta metabólica

Movimientos de iones y de electrones, rotura de moléculas, recomposiciones químicas, aumentos y disminuciones de sustancias, aumentos y disminuciones de agua, cambios de equilibrios electroquímicos, cambios en los gradientes de concentración de solutos y otros mecanismos menos conocidos e imprevistos, alteran:

- La composición del líquido intersticial, el pH ácido en el ánodo y el pH alcalino en el cátodo.
- La composición del líquido intracelular.
- Los niveles de polarización de la membrana celular.
- La rapidez o la lentitud de intercambios metabólicos y, tal vez, reacciones no imaginadas, ya que el galvanismo afecta a toda sustancia que se encuentre en su camino: hormonas, proteínas, disoluciones y otros agentes químicos, de los cuales habría que buscar más a fondo sus posibles efectos benéficos o perniciosos.
- El aumento de la temperatura en ambos electrodos, más en el cátodo, lo que acentúa la vasodilatación, la extravasación, el intercambio, la nutrición y el aporte energético de los tejidos.

Estas alteraciones químicas causarían quemaduras si la intensidad fuera suficientemente alta

(mejor potencia) o el tiempo de la sesión lo bastante largo como para llegar a romper por completo las moléculas orgánicas y despolarizar las células. Ello produce quemaduras químicas de tipo ácido (secas y coaguladas) en el ánodo o alcalinas (húmedas y blandas) en el cátodo, quemaduras difíciles de cicatrizar en ambos casos. Frente a la despolarización de membrana, las células estarán condenadas a su muerte y destrucción.

En las proximidades del cátodo aumentará el metabolismo, ya que se genera un pH en el líquido intercelular que favorece los niveles de polarización celular y su mejor trabajo. Además, se acumulan los cationes más importantes o iones metálicos que controlan las funciones básicas de la célula mientras que en el ánodo disminuirán y se frenará la actividad celular.

Antes de proseguir (para contribuir al entendimiento de los párrafos anteriores), se debe aclarar que el desequilibrio eléctrico entre el plasma sanguíneo (intravascular) y el líquido intersticial es de 1 mV, ($-$) para el plasma, y que el desequilibrio eléctrico entre el interior de la célula y el líquido intersticial está entre 10 y 100 mV, ($-$) en el interior de la célula).

Según esto, el líquido intersticial debe poseer mucha carga $[+]$ con relación al intracelular y al plasma sanguíneo (con este último en menor proporción).

A continuación se examina someramente y de forma gráfica en un esquema lo que ocurre entre el líquido intersticial, el interior de la célula, la membrana celular y los electrodos del galvanismo.

En una situación de reposo celular, los electrolitos que componen el líquido intracelular y el extracelular, sobre todo, son:

- Cationes $[+]$: sodio (Na^+), potasio (K^+), calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+}). El Ca^{2+} y el Mg^{2+} normalmente se encuentran formando enlaces con proteínas o ácidos grasos. Cadenas proteínicas u otras sustancias complejas con carga iónica también forman parte del grupo de cationes.

• Aniones $[-]$: cloro (Cl^-) y bicarbonato (CO_3H^-), sobre todo, además de fosfatos, lactatos, sulfatos y proteínas propias de cada célula, como puede ser la hemoglobina en los glóbulos rojos, la carmosina o la histidina en las fibras musculares, etc., las cuales contrarrestan la fuerza eléctrica de los cationes y se sitúan al otro lado de la membrana celular para crear el gradiente de polaridad o polarización de la membrana celular. También forman parte de este grupo de aniones $[-]$ muchas de las sustancias procedentes de los desechos del metabolismo celular, los cuales, de encontrarse en el líquido intersticial, anularán parte de las cargas $[+]$, disminuirán el nivel de polarización celular y acidificarán el medio.

Tanto los cationes como los aniones forman parte del líquido intracelular y el extracelular. La mayoría de ellos son característicos de un líquido o lugar, como:

- Sodio (Na^+): abunda, de preferencia, fuera de la célula.
- Potasio (K^+): abunda, sobre todo, dentro de la célula.
- Calcio (Ca^{2+}): está asociado con proteínas de la membrana y en pequeñas cantidades libres.

- Magnesio (Mg^{2+}): está asociado con proteínas en las fibras musculares y nerviosas, en su líquido intracelular.
- Ion cloro (Cl^-): se encuentra en el líquido intersticial.
- Bicarbonato (CO_3H^-): se encuentra fuera de la célula.
- Variedad de proteínas que se encuentran dentro de la célula con polaridad negativa: son características de cada función propia a cada tejido o grupo celular.

La distribución de iones en algunos líquidos del ser humano se encuentran concentrados según la [figura 5-8](#).

Esta situación determina que:

- En el centro de las células predominen cargas positivas $[+]$.
- Inmediatamente por dentro de la membrana haya carga negativa $[-]$.
- Inmediatamente por fuera de la membrana haya carga positiva $[+]$.
- Alejado de la membrana, en el líquido intersticial, la carga vuelve a ser relativamente negativa $[-]$, por expresarlo de forma didáctica, ya que en realidad las diferencias en concentración de iones no son tan marcadas sino que es cuestión de porcentajes o abundancia de unos sobre otros.

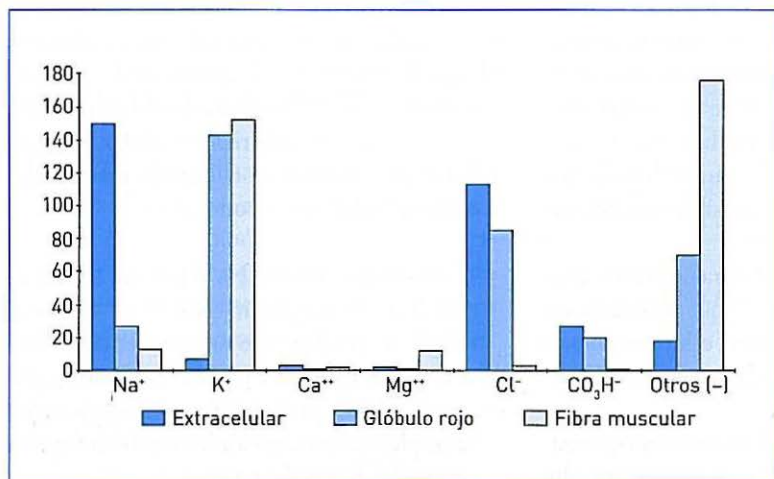


Figura 5-8. Proporciones de algunos electrolitos dentro y fuera de algunas células. Es interesante fijarse en el comportamiento del Na^+ , del K^+ y del Cl^- .

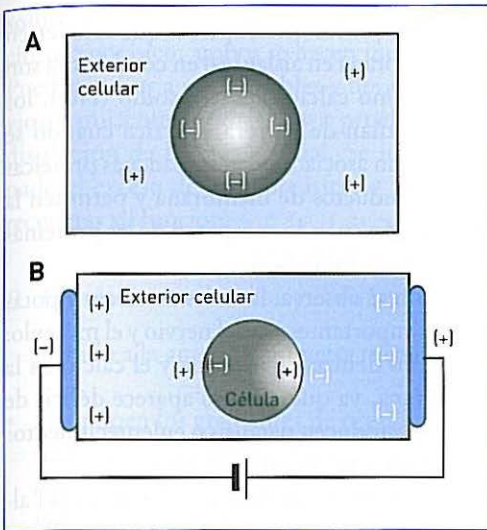


Figura 5-9. A) Célula polarizada y en reposo. B) Se aplica una corriente galvánica y se altera el equilibrio electroquímico que afecta también al interior celular.

Las cargas $[-]$ del interior de la membrana y las cargas $[+]$ del exterior de la membrana establecen la diferencia de potencial o polarización de membrana en mV cuando la célula se encuentra en reposo y sin cambios químicos (Fig. 5-9 A).

A continuación se analiza qué ocurre cuando al esquema de la célula en reposo se le aplica galvanismo (suponiendo y descartando que no se llegara a influir de forma directa en el interior de la célula) y hay que centrarse en los cambios del líquido intersticial (Fig. 5-9 B):

- El sodio (Na^+), el calcio (Ca^{2+}) y sustancias orgánicas de polaridad $[+]$ se acercan al cátodo y se alejan del ánodo.
- Los cloruros, el bicarbonato, los fosfatos, los lactato-sulfatos y las sustancias de carga $[-]$ se alejan del cátodo para concentrarse en el ánodo.

En la [tabla 5-2](#) se pone de manifiesto la proporción entre los distintos componentes y solutos en el líquido intersticial y el intracelular.

En el momento en que se producen cambios bruscos dentro o fuera de la célula muscular o nerviosa, en general fuera, se ocasionan desequi-

Tabla 5-2. Proporción entre los distintos componentes y solutos en los líquidos intersticial e intracelular

Componente	Líquido intersticial	Líquido intracelular
Na^+	142 mEq/L	10 mEq/L
K^+	4 mEq/L	140 mEq/L
Ca^{2+}	5 mEq/L	<1 mEq/L
Mg^{2+}	3 mEq/L	58 mEq/L
Cl^-	103 mEq/L	4 mEq/L
CO_3H^-	28 mEq/L	10 mEq/L
Fosfatos	4 mEq/L	75 mEq/L
SO_4^-	1 mEq/L	2 mEq/L
Glucosa	90 mg%	0-20 mg%
Aminoácidos	30 mg%	¿200 mg%?
Colesterol		
Fosfolípidos	0,5 g%	2-95 g%
Grasa neutra		
PO_2	35 mmHg	¿20 mmHg?
PCO_2	46 mmHg	¿50 mmHg?
pH	7,4	7,0
Proteínas	2 g%	16 g%
	(5 mEq/L)	(40 mEq/L)

Tomada de Guyton, 1988.

librios eléctricos también bruscos que despolarizan la membrana y ésta deja pasar iones. Se realiza el trabajo encomendado a la célula y con posterioridad se repolariza la membrana, expulsa fuera al sodio y absorbe potasio mediante el mecanismo de la «bomba de sodio y potasio».

Es interesante observar que la célula no es otra cosa que un condensador eléctrico en que se encuentran cargas eléctricas opuestas separadas por un dieléctrico que, en este caso, es la membrana celular, pero dicha membrana se puede transformar rápidamente en conductora porque posee conductos iónicos o canales de voltaje, como las de Ca^{2+} y Na^+ .

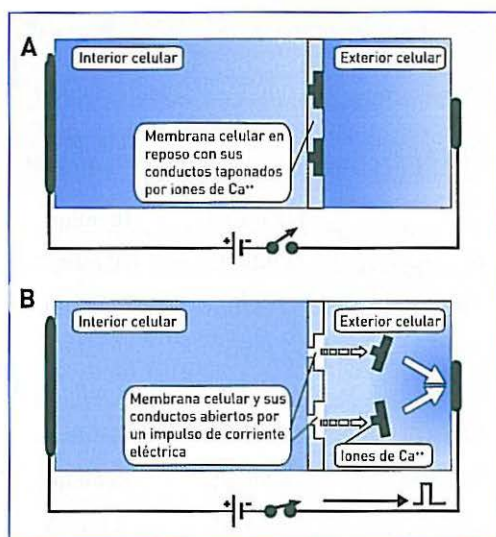


Figura 5-10. A) No se aplica energía y la célula se mantiene en reposo y polarizada porque la membrana está bloqueada en sus conductos por los tapones de Ca^{++} . B) Se despolariza, se aplica un pulso de galvánica negativo y arranca los tapones de Ca^{++} de los conductos de membrana para que la célula se despolarice.

Parece que los interruptores que convierten a la membrana en aislante o en conductora son iones, como calcio (Ca^{2+}) o sodio (Na^+), los cuales actúan de barrera eléctrica cuando se encuentran asociados con las cadenas proteicas de los conductos de membrana y permiten la conducción cuando se separan de las proteínas (Fig. 5-10 y Tabla 5-3).

Como se observa, las sales de calcio y potasio son importantes para el nervio y el músculo: el potasio dentro de la célula y el calcio en la membrana, ya que cuando aparece déficit de calcio se producen parálisis o enlentecimientos en las funciones neuromusculares.

La concentración de iones metálicos $[+]$ alcaliniza ligeramente el pH y las fibras nerviosas o musculares resultan favorecidas. La acidez produce retraso y relajación de los músculos lisos, a la vez que produce fatiga a los estriados.

Si se sitúa un músculo o nervio en una disolución que contenga una concentración demasiado alta de iones potasio, por ejemplo,

Tabla 5-3. Papel biológico de los cationes K^+ , Na^+ , Mg^{2+} y Ca^{2+}

Catión	Líquido intersticial	Líquido intracelular
K^+	Activa la respiración en músculo, riñón, tejido adiposo y eritrocito. Activa la piruvato-cinasa, la síntesis proteica (en ribosomas), la síntesis de acetilcolina, la ATPasa- Na/K	Controla la presión osmótica de las células
Na^+	Inhibe los procesos metabólicos mencionados arriba. Activa la ATPasa- Na/K y la bomba de sodio y potasio	Controla la presión osmótica de las células. Participa en la absorción de glucosa y aminoácidos con las células de la mucosa. Es activo en el funcionamiento nervioso
Mg^{2+}	Activa las quinasas, como hexocinasa, glucocinasa, fosforribocinasa, piridoxal-quinasas, piruvato, carboxilasa y otras	Estabiliza el ARN y el ADN
Ca^{2+}	Es un factor esencial para la α -amilasa, estabiliza la ADNasa y proteinasa microbiana. Activa la protrombina y el tripsinógeno	Estimula la actividad de los sistemas en las membranas, la mitosis y la transformación de los linfocitos. Provoca la liberación de hormonas y la contracción muscular. Es un factor estructural en huesos, dientes, caparazones, etc.

solución de Ringer con contenido triple de cloruro potásico, ambos se hacen inexcitables. Pueden volver a ser excitables y llevar los nervios y músculos, sometidos a prueba, a una disolución de Ringer normal. Se han eliminado el exceso de sales potásicas y vuelven a recuperar su función.

B. Efectos circulatorios y linfáticos

Debido a la anterior respuesta metabólica:

- Se rompen los gradientes de presión osmótica entre el líquido intersticial y el interior de los vasos sanguíneos, lo que provoca mayor o menor intercambio de sustancias nutritivas o reparadoras.
- Además, el cátodo produce vasodilatación (con aumento de la diapédesis).
- Licuefacción bajo el cátodo que impide la coagulación o precipitado de moléculas allí concentradas, además de un aumento de extravasación de sustancias plasmáticas.
- Por efecto irritante del cátodo, los pequeños vasos responden con vasodilatación, como mecanismo de respuesta frente a una agresión.
- En el ánodo, el líquido intersticial se densifica por falta de agua y es más difícil su intercambio iónico de sustancias con los vasos sanguíneos que, además, están constreñidos; se dificulta el movimiento browniano, así como el desplazamiento de linfa.
- En el ánodo, de manera progresiva (según avanza la sesión), también se provoca vasodilatación y enrojecimiento bajo el electrodo, como respuesta histamínica ante la acumulación de radicales ácidos.
- La cataforesis moviliza en las proximidades del cátodo sustancias propias de los residuos del catabolismo (metabolismo energético) y favorece la eliminación de dichas sustancias irritantes por vía sanguínea y linfática.

El calor generado bajo los electrodos se debe a los cambios químicos y a la irritación que, so-

bre la piel y las terminaciones nerviosas sensitivas, produce el paso de cargas eléctricas. De manera secundaria, contribuirá a aumentar el calor la vasodilatación de respuesta a dicha agresión o, también, como efecto termorregulador.

Como resumen, se exponen de nuevo los desequilibrios más llamativos provocados en las zonas polares influyentes en los desplazamientos linfáticos o sanguíneos:

- Bajo el cátodo:
 - Aumenta la cantidad de agua (H_3O^+).
 - Aumenta la concentración de sodio (Na^+).
 - Aumenta el nivel de polarización de membrana.
 - Se alcaliniza la zona.
 - Disminuye el dióxido de carbono.
 - Aumenta la polarización en la pared capilar.
 - Se extravasa agua del plasma sanguíneo a la linfa.
 - Se acentúa el paso de aniones $[-]$ del plasma al líquido intersticial para equilibrar la concentración de cationes $[+]$.
 - Aumenta la actividad metabólica, el calor y la vasodilatación.
- Bajo el ánodo:
 - Aumenta la concentración de cloruros, bicarbonato, dióxido de carbono y, en general, aniones de carga $[-]$.
 - Disminuye el nivel de polarización de membrana.
 - Disminuye o se invierte la polarización respecto a la pared vascular.
 - Pasa agua del líquido intersticial a los vasos.
 - Pasarían los aniones (concentrados en la zona) al caudal sanguíneo, pero se suelen encontrar en estado de gel e impiden su movilidad y la pared capilar es menos permeable a éstos que al agua.
 - Se frena la actividad metabólica.
 - Se produce coagulación proteica y vasoconstricción.

C. Efectos sobre el sistema nervioso

Hasta este punto se ha hecho referencia a las respuestas del organismo a los cambios metabólicos debidos al galvanismo. Dichas respuestas son controladas por el sistema nervioso vegetativo, pero, además, en las zonas tratadas existen terminaciones nerviosas sensitivas, motoras, axones y cuerpos neuronales que sufren el paso del galvanismo y sus correspondientes alteraciones.

Sistema nervioso sensitivo

Las terminaciones sensitivas de las zonas situadas bajo los electrodos estarán influidas por los cambios que en su ambiente se produzcan, de forma que bajo el cátodo se acumulan los iones [+], sobre todo sodio y calcio, por lo que aumenta el umbral o nivel de polarización de membrana y por ello será más difícil superar o romper dicho umbral. Sin embargo, a la vez, las condiciones electroquímicas creadas son las ideales para una respuesta rápida y eficaz ante los estímulos.

Las terminaciones sensitivas colocadas bajo el ánodo serán envueltas por sustancias e iones con carga [-] que disminuyen el nivel de polarización (debe recordarse que dentro de la célula es [-] también) fácil de superar y difíciles de despolarizar; las terminaciones están condicionadas a respuestas lentas y débiles por los bajos gradientes iónicos.

Estos mecanismos son los llamados *cataelectrotono* y *anaelectrotono*, para el cátodo y el ánodo, respectivamente. Si se observa con atención, tanto en el cátodo como en el ánodo se pueden presentar efectos analgésicos (debe recordarse que en la [tabla 5-1](#) la sedación y la excitación se acompañan de interrogaciones). A continuación se describe cómo pueden desarrollarse los referidos efectos analgésicos.

En el *cátodo* sube el umbral de polarización, por lo cual es más difícil que los estímulos dolorosos lo superen y rompan, pero si el dolor

estaba producido por estímulos que ahora quedan por debajo del umbral, el dolor desaparece. En cambio, si el estímulo doloroso continúa siendo mayor que el umbral, despolarizará la membrana y será conducido con mayor eficacia.

El efecto analgésico del cátodo es mejorado por el efecto electroforético (rechazo de iones del mismo signo), ya que las sustancias irritantes son desplazadas de la zona (sustancias que podían ser la causa del dolor localizado y crónico) de tipo bioquímico.

Así pues, la analgesia del cátodo se producirá cuando los dolores sean de origen químico por acumulación de catabolitos procedentes de procesos crónicos, desechos metabólicos acumulados o deficiencias de riego e intercambios de nutrientes por radicales libres. Estos dolores son leves.

Bajo el *ánodo*, por el hecho de bajar el nivel de polarización, será más fácil despolarizar la membrana y los estímulos débiles lo conseguirán. Con todo, las condiciones metabólicas son tan desfavorables que la despolarización y la transmisión se verán muy dificultadas y el impulso se pierde, por lo que se crea una zona de hipostesia que será muy útil en los momentos y estados agudos cuando el foco de la lesión manifiesta hipersensibilidad.

Entonces, se conseguirá la analgesia en momentos de metabolismo excesivo por inflamación aguda, situaciones en que los estímulos de los mecanorreceptores de la propiocepción o deformación de tejidos, en lugar de transmitir estímulos de deformación o propiocepción, transmiten estímulos dolorosos, dolores más intensos e inhibidores de la actividad funcional que los dolores crónicos.

Sistema nervioso motor

Los efectos de *cataelectrotono* y de *anaelectrotono* también se pondrán de manifiesto en este caso dado que las terminaciones nerviosas o placas motoras colocadas bajo los distintos

electrodos sufrirán influencias semejantes a las sensitivas.

De hecho, cuando la electroestimulación de un punto motor es dificultosa, suele aplicarse galvanismo previo a condición de que el [-] se sitúe en la placa motora que deba ser estimulada para crear un ambiente electroquímico de *cataelectrotono* en la zona.

Ello significa que el líquido pericelular poseerá abundantes cationes [+] y que, aunque suba el umbral de polarización, la reacción de despolarización se realizará en condiciones mejoradas, con suficientes reservas metabólicas para soportar el trabajo que debe realizarse y la respectiva disminución de fatiga.

Lo contrario ocurrirá con los efectos bajo el ánodo o *anaelectrotono*, donde se reducirán las reacciones electroquímicas, su velocidad, sus reservas ante el trabajo y aumentará la fatiga.

Sistema nervioso central

El vértigo voltaico y el experimento que Leduc realizó con los peces demuestran la influencia de la corriente galvánica sobre el sistema nervioso central. A continuación se describe el experimento de Leduc (Fig. 5-11). Colocó en dos extremos opuestos de una pecera sendos electrodos de un circuito de galvanización. Aplicó la corriente y observó que los peces se manifestaban inquietos y nerviosos hasta que todos quedaron orientados con la cabeza hacia el ánodo y la cola hacia el cátodo. Invertió la polaridad y, de nuevo, los peces se sintieron inquietos hasta que volvió a encontrar a los peces con la cabeza hacia el ánodo y la cola hacia el cátodo.

A ello Leduc lo denominó *efecto descendente* y *efecto ascendente*, y afirmó lo siguiente: «Cuando la corriente es descendente ([+] craneal y [-] distal), se consigue sedación y narcosis. Sin embargo, si la corriente es ascendente ([+] distal y [-] proximal), el efecto será de excitación y tensión nerviosa».

Otro experimento consiste en aplicar dos electrodos a ambos lados de la cabeza (sobre las

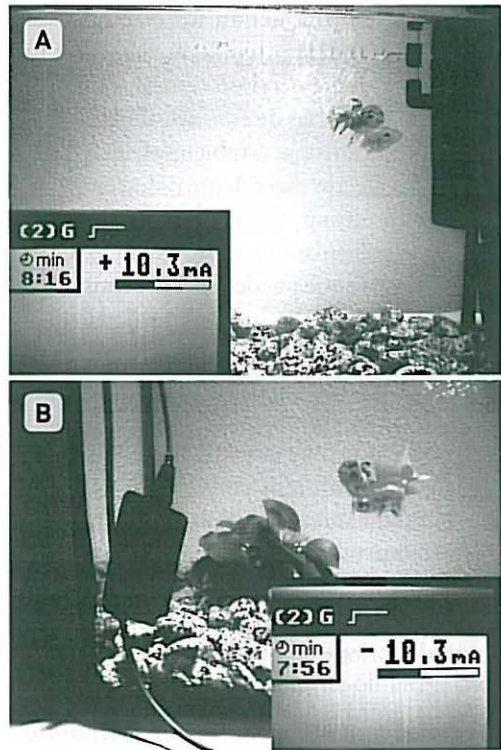


Figura 5-11. A) Cuando los peces se sitúan con la cabeza hacia el [+] y la cola hacia el [-], tienden a mantenerse tranquilos y sedados. B) Al invertir la polaridad se agitan hasta situarse de nuevo hacia el ánodo.

apófisis mastoides) con una corriente galvánica moderada (de 2 a 5 mA con electrodos de unos 40 cm²). Al cabo de un rato se observan las siguientes manifestaciones:

- Bajo el cátodo, la sensibilidad de la piel es mayor que en el lado del ánodo.
- La cabeza se inclina hacia el lado del cátodo (debido al mayor tono muscular).
- La pupila del ojo junto al ánodo se dilata mientras que la otra conserva su tono muscular.
- En el oído del cátodo se siente vértigo mientras que en el lado opuesto no ocurre lo mismo.

Debido a este experimento, al efecto ascendente o descendente también se lo denomina *vértigo voltaico* o galvanonarcosis.

No sólo se producirán los efectos ascendente y descendente cuando se encuentre implicado el sistema nervioso central, sino que si un nervio a lo largo de su trayectoria se ve sometido a galvanismo, también sufrirá o disfrutará de los efectos ascendente o descendente.

Por esto último, cuando se realicen aplicaciones de galvanismo con otros objetivos, no debe olvidarse que puede sedarse o estimularse de forma simultánea los nervios de la zona y tener en cuenta la doble circunstancia para que se produzca un efecto terapéutico sumativo en lugar de un efecto contradictorio.

Es muy probable que muchas de las aplicaciones de iontoforesis consideradas efectivas por el medicamento se deban más al galvanismo como tal que al medicamento supuestamente introducido. En cambio, iontoforesis consideradas fallidas pueden deberse a efectos contradictorios del galvanismo.

Efecto ascendente y efecto descendente

Insistiendo en la galvanonarcosis, ésta consiste en producir sedación o excitación en el sistema nervioso, basado en el sentido de circulación de la corriente (de caudal a distal o de distal a caudal).

Merece la pena detallar este efecto por la aparente contradicción que existe en la nomenclatura.

Por un lado, se está considerando que la corriente circula de $[-]$ a $[+]$ y, por el otro, se afirma que es descendente cuando el $[+]$ está en sentido craneal y el $[-]$ en sentido distal.

En realidad, no importa el hecho de utilizar una nomenclatura u otra, hay que pensar en los efectos polares en las proximidades de un electrodo o del contrario:

- Una corriente descendente $[+]$ craneal y $[-]$ distal es sedante y analgésica sobre el SNC porque le afecta el ánodo y su freno metabólico.
- Una corriente ascendente $[+]$ distal y $[-]$ craneal es estimulante del SNC porque los



Figura 5-12. La fotografía muestra una fijación de un electrodo sobre la zona lumbar (para influir en las raíces del plexo) y del otro en sentido distal sumergido en el agua de la cubeta (en los pies). El $[-]$ se encuentra sobre la columna, el $[+]$ en sentido distal. El efecto será ascendente o estimulante.

efectos estimulantes del cátodo afectan al SNC.

Se hace referencia al organismo como si éste fuera una célula voltaica en lugar de ser una célula electrolítica (Fig. 5-12).

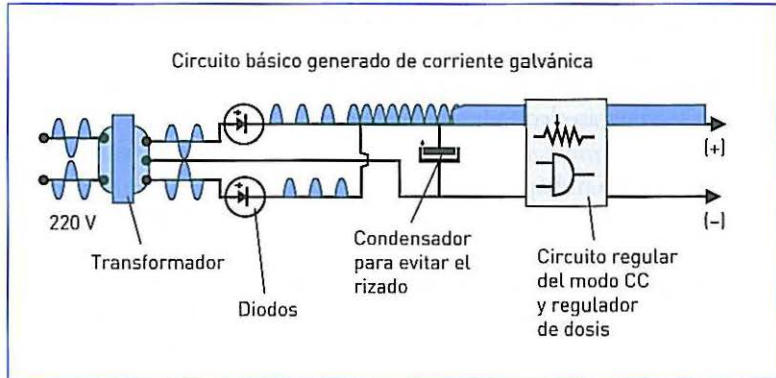
En el caso concreto de la figura 5-12 se pretende influir sobre el plexo lumbosacro de forma que el $[-]$ se aplica en sentido proximal y el $[+]$ en sentido distal. El objetivo es aumentar el tono neurovegetativo para disminuir la tendencia edematosa de las piernas.

GENERADOR DE CORRIENTE CONTINUA O GALVÁNICA

Como se ha descrito antes, las pilas, baterías y acumuladores en general generan la corriente galvánica, pero es habitual la transformación de la corriente alterna de la red en continua mediante un circuito electrónico muy simple, el cual interesa conocer por su implicación e influencia en conceptos eléctricos y sus parámetros más básicos (Fig. 5-13).

La parte de transformación y rectificación es simple, pero los sistemas de regulación en *intensidad constante (CC)* y de la intensidad aplicada

Figura 5-13. Esquema básico de un generador de corriente galvánica o corriente continua (CC).



son complejos y constituyen el «alma» de cualquier galvanizador destinado a tratamientos.

El primer paso consiste en tomar la energía eléctrica alterna de la red y reducirla con un transformador. A continuación se filtran las ondas mediante 1, 2 o 4 componentes electrónicos, denominados diodos. Acto seguido se elimina el rizado por el efecto del correspondiente condensador, para de inmediato pasar a los circuitos de control de intensidad, de voltaje, control de intensidad constante, sistema de medida, controles de seguridad, etcétera.

DOSIS DE LA CORRIENTE GALVÁNICA

Es complejo dosificar de forma correcta la corriente galvánica por las variables que influyen y por las limitaciones técnicas de los galvanizadores actuales. A continuación se analiza paso a paso.

¿De qué le sirve a un fisioterapeuta leer y seguir con atención los cálculos eléctricos que siguen? Serán útiles para entender que las circunstancias de medida o dosificación y comportamiento del circuito en general no se repiten entre las diferentes aplicaciones y, además, durante la sesión las circunstancias se están modificando. Ello demostrará que está pendiente por resolver la metodología de dosificación de la galvanoterapia.

Para entenderlo, se procede al análisis de la intensidad que se aplica en una sesión de tratamiento y se observa qué ocurre si se hacen pasar

10 mA por dos electrodos de 60 cm² y los mismos 10 mA, por otros electrodos de 2 cm².

En el primer caso, el paciente comentará que nota una sensación más o menos soportable, pero en el segundo solicitará con urgencia que se le retire por la fuerte sensación de picor, hormigueo o quemazón que soporta.

En la primera aplicación (de 60 cm²), cada cm² recibe unos 0,165 mA/cm² ($10/60 = 0,166$).

En el segundo caso (de 2 cm²), cada cm² recibirá 5 mA/cm² ($10/2 = 5$).

Esto obliga a buscar una *intensidad media como unidad de aplicación* (dosis) basada en el hecho de que cada cm² de superficie que recibe la corriente soporte siempre la misma intensidad sin que influyan otros parámetros.

Esta dosis la establecen la mayoría de los autores entre un mínimo de 0,05 µA/cm² y un máximo de 1 mA/cm². ¿Por qué existe esta gran diferencia? A ciencia cierta, cada autor aporta sus experiencias personales con los distintos equipos aplicadores y los diferentes diseños electrónicos. En esta obra se sugiere el siguiente valor:

0,15 mA/cm² para galvanismo sobre 3.000 Ω/cm².

Es distinto aplicar 0,2 mA/cm² con una resistencia en el circuito aplicador de 3.000 Ω que 0,2 mA/cm² sobre 1.500 Ω, partiendo de la base de que la aplicación se practicará en *intensidad constante* y el uso de distintos tama-

ños de electrodos también influye en la resistencia del circuito. Al considerar diferentes tamaños, el voltaje en cada caso será distinto. Para el ejemplo se tomarán electrodos de 100 cm^2 :

$$0,15 \cdot 100 = 15 \text{ mA (por todo el electrodo)}$$

$$0,015 \cdot 3.000 = 45 \text{ V}$$

$$0,015 \cdot 45 = 0,675 \text{ W}$$

675 mW por todo el electrodo, 0,00675 mW en cada cm^2

De considerar 0,15 mA/cm² con 500 Ω /cm², el resultado será:

$$0,15 \cdot 100 = 15 \text{ mA (por todo el electrodo)}$$

$$0,015 \cdot 500 = 7,5 \text{ V}$$

$$0,015 \cdot 7,5 = 0,112 \text{ W}$$

112 mW por todo el electrodo, 0,001 mW por cada cm^2

La diferencia entre los dos ejemplos es la siguiente: 0,00675 mW en cada cm^2 en el primer caso y 0,001 mW por cada cm^2 en el segundo caso.

Estas cifras se obtienen por la práctica cotidiana, pero la cifra buena debe estar basada en los objetivos marcados en el tratamiento y en los parámetros que ofrece el aparato aplicador, la resistencia del circuito, las condiciones de los electrodos y los tejidos del paciente:

- Si se pretende practicar una aplicación en que no se llegue a conseguir que las proporciones de ácidos o bases acumuladas bajo sendos electrodos alcancen niveles altos, debe realizarse una aplicación con una diferencia de potencial (voltaje) bajo, intensidad adecuada (mA) baja y tiempos largos, de manera que cuando las concentraciones químicas superen el umbral deseado se hidrolicen por la zona de dispersión: *aplicación lenta de energía* (poca potencia).
- Si se busca producir transformaciones químicas importantes bajo los electrodos, aunque lleguen a alterar la composición de la zona, la intensidad y la diferencia de poten-

cial, deben ser lo bastante intensos para que así ocurra y, por lo tanto, habrá que controlar con eficacia y precaución el tiempo de aplicación: *aplicación rápida de energía* (potencia más alta).

¿Dónde se halla el límite o *umbral* en que los iones se concentran sin llegar a transformarse en elementos neutros? O, lo que es igual, ¿dónde se halla el límite para generar *electroforesis* sin pasar a *electrólisis*?

No es fácil averiguarlo porque depende de multitud de circunstancias referentes a la disolución, por la tensión (voltaje) aplicada, por la intensidad, por la resistencia de los tejidos, por la resistencia de la piel, que actúa de membrana divisoria en la disolución, etcétera.

Se está en la misma situación cuando uno se hace semejante pregunta en cuanto a la dosis adecuada para aplicar onda corta o microondas: ¿qué potencia es la adecuada para que el calor generado no dañe los tejidos?

La potencia adecuada (para alta frecuencia) es aquella que genera calor suficiente como para que suba la temperatura de la zona unos grados (de 2 a 4 °C, como máximo), para que se mantengan los mismos grados a lo largo de la aplicación y, lo que es fundamental, para que el mecanismo de termorregulación del organismo sea capaz de controlar y disipar el calor generado (sin saturar el sistema).

En el caso de la onda corta o de la microonda se dispone de información en tiempo real para elevar o reducir la potencia, pues el paciente informa al fisioterapeuta por su percepción térmica. En la galvanización esa información no es fiable. Por esta razón no queda otra opción que intentar precisar la dosis de la corriente galvánica tras mejorar los sistemas de medida y del comportamiento resistivo del paciente.

No está tan clara la información que el paciente suministra, debido al simple hecho de

que el galvanismo suele producir sensaciones distintas en cada persona, pues se llega al caso (que se produce con frecuencia) en que el paciente afirma no sentir casi nada y, cuando se le levantan los electrodos, la zona de implantación aparece al límite de la quemadura. Por esa razón, *nunca debe olvidarse el cálculo previo de la dosis de seguridad según los cm^2 del electrodo más pequeño.*

Tal vez, el método más útil, por el momento, provenga de la experiencia de cada uno con su propio aparato de trabajo, partiendo siempre de aplicaciones cautas, prudentes y más potentes de manera progresiva hasta que se detecten los límites adecuados.

No todos los equipos de galvanización cumplen las mínimas condiciones eléctricas requeridas, de manera que, aunque se aplique la misma intensidad en cualquiera de ellos, cada uno puede presentar un comportamiento diferente en cuanto a su estabilización de parámetros o caídas de aporte energético ante situaciones resistivas del paciente fuera de la norma. Para resolver el problema se acudirá a la ley de Ohm, con la cual, tras conocer dos parámetros, se obtendrán todos los demás. Además, se intentará que el equipo garantice una calidad mínima.

El conocimiento del aparato que se usa y de las circunstancias resistivas del circuito corporal es importantísimo, ya que resulta muy distinto llevar a cabo una aplicación de 50 V con 5 mA que otra que suministre 12 V con 5 mA:

- En el primer caso se aplican $50 \text{ V} \cdot 5 \text{ mA} = 250 \text{ mW}$.
- En el segundo caso se aplican $12 \text{ V} \cdot 5 \text{ mA} = 60 \text{ mW}$.

Si la aplicación dura 5 minutos (300 s), se obtendrá:

- En el primer caso: $250 \text{ mW} \cdot 300 \text{ s} = 75 \text{ J}$ (unidad de trabajo).
- En el segundo caso: $60 \text{ mW} \cdot 300 \text{ s} = 18 \text{ J}$.

Aunque en los dos casos se aplican 5 mA, el trabajo realizado es muy distinto y, por consiguiente, también lo serán los resultados.

Se están siguiendo los caminos de la ley de Ohm y de la ley de Joule, porque se consideran los posibles efectos de alteración electroquímica y riesgo de quemadura. Sin embargo, cuando se utilice el galvanismo orientado a la introducción de medicamentos (*iontoforesis*), se aplicará la ley de Faraday aunque no se olvidarán los parámetros del circuito para no correr riesgos de quemadura (la ley de Faraday calcula la cantidad de medicamento introducido). V. «Rizólisis o coagulación anódica de la raíz sensitiva», en el cap. 6).

Según esto, deberá conocerse la resistencia del organismo, porque el trabajo que se generará depende de manera directa de esta variable, ya que puede pasar un número indeterminado de mA por el circuito formado por los cables de aplicación de electrodos y el organismo.

Dado que, en teoría, la resistencia de los cables es 0, el trabajo realizado en ellos será nulo. Sin embargo, en los tejidos orgánicos, cuanto mayor sea la resistencia, mayor será el trabajo generado, aunque dependerá de si el equipo de aplicación trabaja en *intensidad constante* o en *tensión constante*, situaciones tratadas en el capítulo 1.

Para observar los cambios referidos, basta con realizar una aplicación sobre el cuerpo humano y medir la intensidad y el voltaje de manera simultánea con un reloj al lado (Fig. 5-14). Como puede apreciarse, en este caso, se aplicaron 6,7 mA que se mantienen en las dos medidas (por ajustar el estimulador en modo CC) y el voltaje a las 10:39 era de 22,9 V en tanto que, 2 minutos después, era de 20,8 V.

A modo de simple curiosidad, ¿qué resistencia se tiene en la primera toma? $22,9 / 0,0067 = 3.417,9 \Omega$.

¿Qué resistencia se tiene en la segunda toma? $20,8 / 0,0067 = 3.104,4 \Omega$.

Esto significa que la resistencia está cambiando por el efecto electroforético de los iones dentro del organismo.

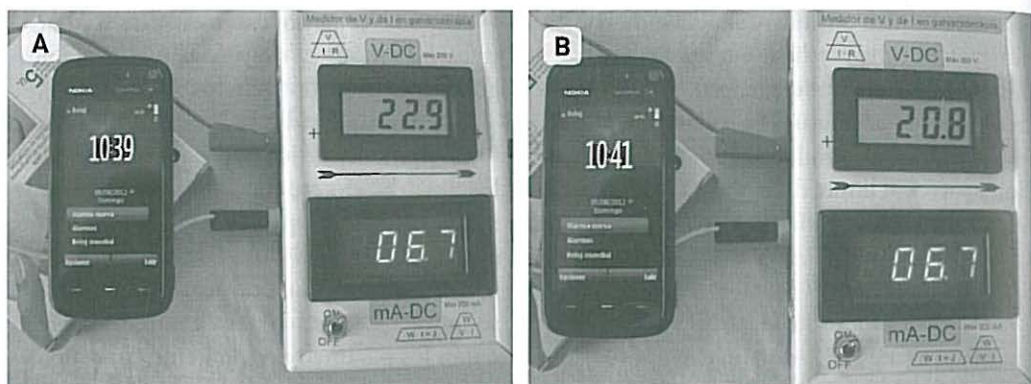


Figura 5-14. A) A las 10:39 se miden 6,7 mA y 22,9 V. B) A las 10:41 siguen pasando 6,7 mA, pero con 20,8 V. La resistencia ha cambiado.

También el galvanismo genera calor en los tejidos, calor procedente del paso de energía eléctrica (además de por otras causas) calculable y medible mediante la ley de Joule y la ley de Ohm.

Cálculo de la resistencia del conjunto de electrodos y organismo con corriente galvánica

Se tiende a considerar que la medida realizada con un polímetro eléctrico en la posición de ohmios y con las puntas de prueba es suficiente para leer la resistencia del conjunto de electrodos y tejidos orgánicos. Nada más lejos

de la realidad, pues los valores así conseguidos no tienen nada que ver con la resistencia que los tejidos corporales ofrecen a un estimulador (Fig. 5-15).

Se remite al lector a «Influencia de la carga en la forma de onda», en el capítulo 2 y a la figura 2-25, así como a «Impedancia del complejo piel-electrodo», en el capítulo 3 y a la figura 3-2.

En la figura 5-15 A, con el polímetro se han medido 45,3 M Ω o millones de ohmios, que no tienen nada que ver con lo calculado a continuación.

Para conocer la resistencia óhmica según la figura 5-15 B:

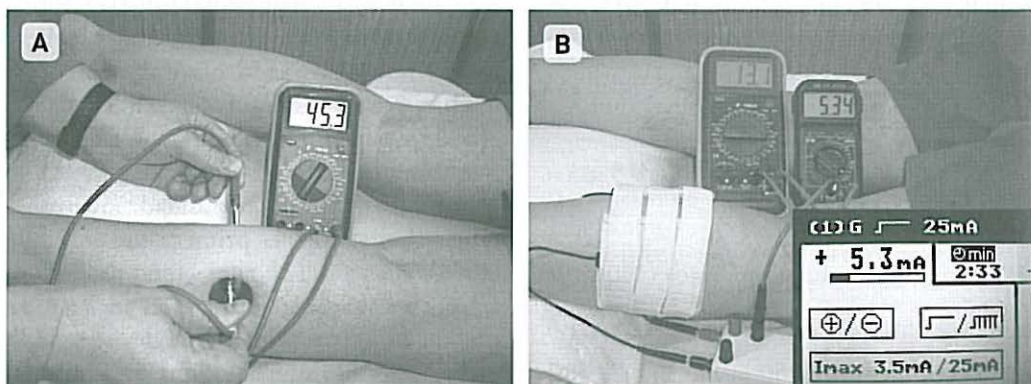


Figura 5-15. A) Intento (erróneo) de medida de la resistencia corporal con un polímetro. B) Lectura de voltaje y de amperaje para calcular la resistencia según la ley de Ohm.

- Se aplicará un estimulador en corriente galvánica.
- Se subirá la intensidad hasta un punto no molesto.
- Se medirá la intensidad con un polímetro eléctrico en la posición de miliamperios.
- Con otro polímetro se medirá el voltaje aplicado.

Con los valores anotados de intensidad y voltaje, se aplicará la ley de Ohm para calcular la resistencia (Fig. 5-14).

Se leen los valores y se obtienen los siguientes parámetros:

- En intensidad = 5,3 mA.
- En voltaje = 13,1 V.

La ley de Ohm reza que resistencia es igual a voltaje partido entre intensidad:

$$R = \frac{13,1}{0,0053} = 2.471\Omega$$

Los 2.471 Ω calculados se producen en todo el electrodo. Si se desea saber la resistencia en cada cm^2 , se dividirá este valor entre los cm^2 del electrodo.

Es importante conocer las evoluciones y los comportamientos de la resistencia corporal para entender mejor los fenómenos galvánicos y para detectar la aparición de quemaduras. A continuación se presenta la evolución de una

aplicación de galvánica durante 21 minutos y cuatro cambios de polaridad (Fig. 5-16).

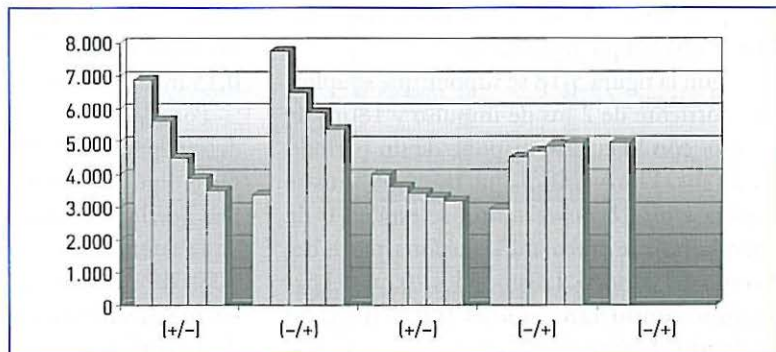
El cambio de resistencia frente a alternancia en la polaridad es un factor que no está bien contemplado en las aplicaciones de galvanismo y su dosificación. La tendencia a la disminución de resistencia en los primeros minutos obliga a proteger al paciente con la modalidad de aplicaciones en CC y evitar por todos los medios la modalidad de VC (v. «Corriente constante y voltaje constante», en el cap. 1).

Si se observa la figura 5-16, en concreto después del primer cambio de polaridad, se aprecia un aumento de resistencia que destaca sobre los otros. ¿A qué se debe esto? Muchos autores recomiendan practicar cambios de polaridad de forma periódica en tanto que otros consideran más adecuado evitarlas.

COMPONENTE GALVÁNICO DE LAS CORRIENTES GALVÁNICAS INTERRUPTIDAS

Otra forma o variante de aplicar galvanismo sobre el organismo consiste en hacer interrupciones en la aplicación de la corriente galvánica (en el rango de ms), de suerte que la eficacia resultante va a ser la media obtenida del tiempo con que se aplica la intensidad máxima de los impulsos menos el tiempo de los reposos. Por ello, el efecto galvánico de todas las corrientes del grupo pertenecerá a las corrientes galvánicas interrumpidas (Fig. 5-17).

Figura 5-16. Evolución de la resistencia (en ohmios) del conjunto electrodo-organismo frente a una corriente galvánica con cuatro cambios de polaridad, durante 21 minutos y toma de lectura a cada minuto.



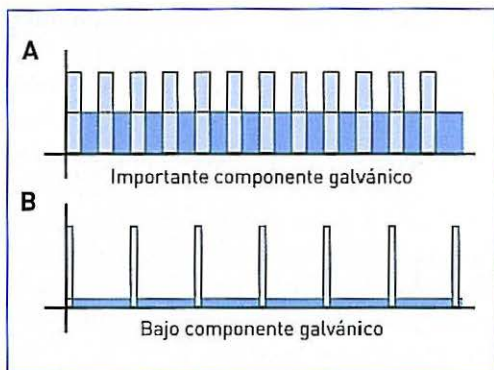


Figura 5-17. A) Debido al hecho de que los pulsos y los reposos casi son iguales, tal vez el componente galvánico se acerque al 50%. B) Los pulsos son mucho más cortos que los reposos y, en consecuencia, el componente galvánico será menor. ¿Cuántos...?

Esta modalidad posee la ventaja de que la corriente aplica dos efectos terapéuticos:

- Estímulo sensitivo (procedente de los pulsos).
- Cambios electroquímicos (debido al componente galvánico).

Con estas corrientes, si su componente galvánico es muy reducido, será rara la quemadura, pero si es elevado, con frecuencia podrá quemarse sin entender muy bien el porqué.

Para evitar alteraciones electroquímicas bajo los electrodos, de forma previa debe averiguarse cuál es el componente galvánico de una galvánica interrumpida. Para ello podrá hallarse mediante diversos caminos aritméticos, pero ahora se buscará el porcentaje mediante una simple regla de tres.

Según la figura 5-18 se supone que se aplica una corriente de 2 ms de impulso y 18 ms de reposo, con lo cual se dispone de un período de 20 ms. Ello significa que durante 2 ms se trabaja y los 18 ms restantes se está en 0 de energía; así, se trabajará la décima parte del tiempo del período. Luego, si los 20 ms del período se consideran como el 100 % del ciclo analizado, 2 ms serán X:

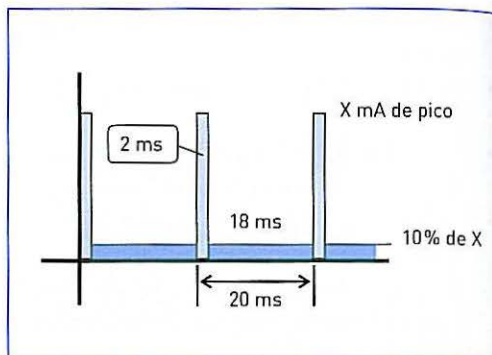


Figura 5-18. El 10% de la intensidad que se aplica se comportará como una corriente galvánica equivalente.

$$\begin{aligned} 20 \text{ ms} &\Rightarrow 100 \% \\ 2 \text{ ms} &\Rightarrow X \\ X &= 10 \% \end{aligned}$$

Sin asignar un valor concreto a la intensidad en mA, se sabe que el 10 % de los mA ajustados (leídos en el miliamperímetro del estimulador) de esta corriente serán capaces de comportarse como una corriente galvánica. Así pues, este 10 % no debe superar los valores que se hubieran ajustado con la corriente galvánica pura.

No hay que olvidar que los estimuladores, cuando indican la intensidad de corrientes pulsadas, leen la intensidad de pico.

Ahora se necesita saber la superficie del electrodo pequeño y qué intensidad límite se ajustaría en el miliamperímetro con una corriente galvánica pura (Fig. 5-19).

Tras haber medido el electrodo pequeño, se obtiene: $6 \text{ cm} \cdot 7 \text{ cm} = 42 \text{ cm}^2$; $42 \text{ cm}^2 \cdot 0,15 \text{ mA/cm}^2 = 6,3 \text{ mA}$ en todo el electrodo.

Por ello, en la corriente anterior el 10 % no debe superar los 6,3 mA. En este caso se plantea el siguiente problema: ¿hasta qué intensidad pueden elevarse los miliamperios de pico, en la referida corriente, si se considera que el 10 % de ese valor será equivalente a una corriente galvánica de 6,3 mA sobre el electrodo de 42 cm^2 ? (Fig. 5-20).

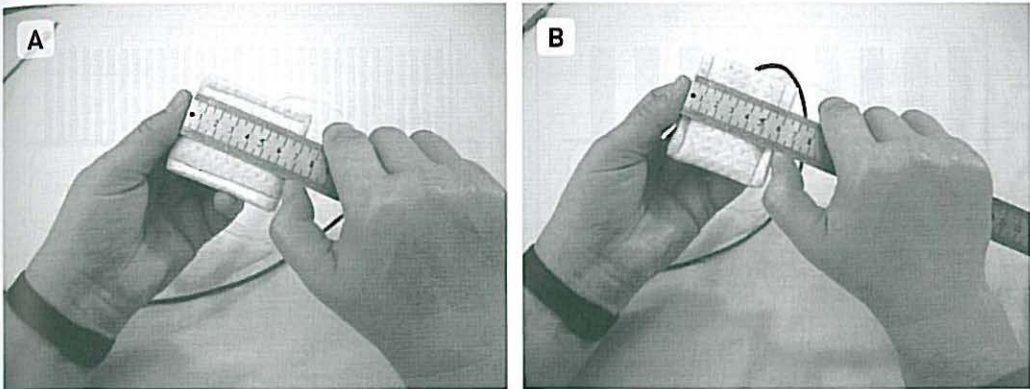


Figura 5-19. A) Se mide el largo de la gamuza que está en contacto con el paciente. B) Se mide el ancho de la gamuza. El 10 % de la intensidad que se lea en el estimulador se comportará como una corriente galvánica equivalente.

Entonces:

$$\begin{aligned} \text{Si el } 10\% &\Rightarrow 6,3 \text{ mA} \\ \text{el } 100\% &\Rightarrow X \text{ mA} \\ X &= 63 \text{ mA} \end{aligned}$$

En general, puede afirmarse que, si una corriente interrumpida galvánica presenta el 50 % (1/2) de componente galvánico, su intensidad puede ser elevada hasta el inverso, el doble de la calculada como componente galvánico.



Práctica 5-1

Se aplica una corriente formada por pulsos monofásicos cuadrangulares de 3 ms y reposos de 8 ms con dos electrodos, de forma que el pequeño es de 70 cm².

1. ¿Cuál es el componente galvánico?
2. ¿Cuántos mA de pico deben aplicarse para alcanzar plenamente el efecto galvánico a 0,15 mA/cm²?
3. ¿Cuántos mA de pico deben aplicarse para alcanzar plenamente el efecto galvánico a 0,1 mA/cm²?

nico. Si es del 33 % (1/3), puede alcanzarse el triple. Si es del 25 % (1/4), se elevará como límite de riesgo cuatro veces el valor de su componente galvánico.

En este ejercicio se ha sugerido un cálculo con 0,1 mA/cm² porque es más frecuente el uso de este valor en lugar de 0,15 mA/cm². Es recomendable usar 0,1 al inicio del tratamiento y pasar a 0,15 en las siguientes sesiones si todo va bien.

Además, es habitual que el estímulo sensitivo no permita alcanzar el límite para conseguir plenamente los efectos galvánicos si el componente sensitivo es fuerte. Sin embargo, con frecuencia ciertas corrientes (con muy poca carga sensitiva) permiten superarlo sin que el paciente manifieste molestias. Estos casos se presentan

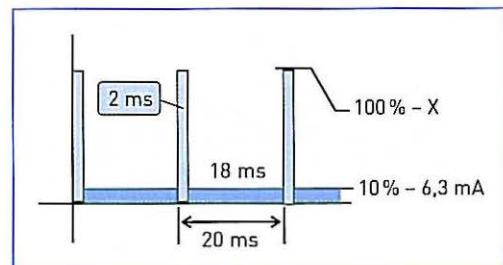


Figura 5-20. Para que el 10% no supere 6,3 mA de componente galvánico, el valor de pico (leído en la máquina) será 63 mA.

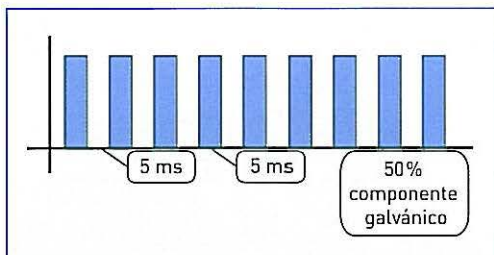


Figura 5-21. Mucho estímulo sensitivo.

con la difásica fija (DF) de las corrientes diadnámicas que posee el 66 %, la monofásica fija (MF) con el 33 % o los cortos períodos (CP) con el 49,5 %.

Cuando una corriente pulsada genere tanto estímulo sensitivo intenso que no permita alcanzar el efecto galvánico pretendido, se aumentará la frecuencia y se conservará el mismo componente galvánico. Para ello se disminuirá el tiempo de pulso y de reposo en la misma proporción.

Se expresa a continuación:

- Corriente al 50 % de componente galvánico y 100 Hz: 5 ms de pulso más 5 ms de reposo (Fig. 5-21).
- Corriente al 50 % de componente galvánico y 250 Hz: 2 ms de pulso más 2 ms de reposo (Fig. 5-22).
- Corriente al 50 % de componente galvánico y 500 Hz: 1 ms de pulso más 1 ms de reposo (Fig. 5-23).

Si se aplica una banda de frecuencias que oscile entre 80 y 150 Hz, el estímulo sensitivo será

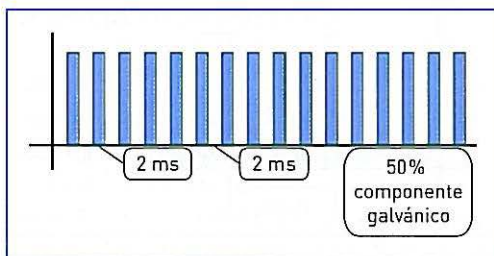


Figura 5-22. Disminuye el estímulo sensitivo con relación a la anterior.

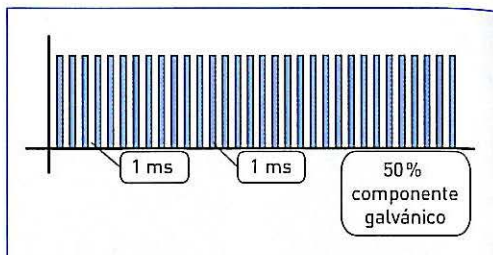


Figura 5-23. Se pierde de forma muy importante el estímulo sensitivo.

muy importante y puede convertirse en insoportable ante los requerimientos de intensidad para alcanzar el objetivo galvánico. Si se aumenta la frecuencia por encima de 200 Hz, el estímulo sensitivo pierde protagonismo y permite alcanzar las intensidades que se necesitan para cubrir el efecto galvánico de la corriente pulsada.

Cuanto mayor sea el componente galvánico, el paciente manifestará percepción sensitiva de quemazón galvánica; cuando el componente galvánico sea menor, la percepción será de calambre eléctrico provocado por la sucesión de pulsos.

Corriente galvánica pulsada de media frecuencia

Una modalidad de galvanismo es la denominada corriente «galvánica pulsada», formada por pulsos muy cortos y muy próximos, tanto que trabaja en frecuencias desde unos 7.000 hasta 10.000 Hz con un componente galvánico próximo al 100 % (Fig. 5-24).

Si se analiza esta corriente, podrá observarse que el período es de 130,4 μ s y su frecuencia será:

$$F = \frac{1 \text{ s}}{p} = \frac{1.000.000 \mu\text{s}}{130,4 \mu\text{s}} = 7.669 \text{ Hz}$$

Esta variante se ha extendido desde hace unos años porque, entre otras cosas, es muy fácil de generar con la electrónica digital moderna. Es importante conocer su componente galvánico que, en general, lo aporta el fabricante o, en su

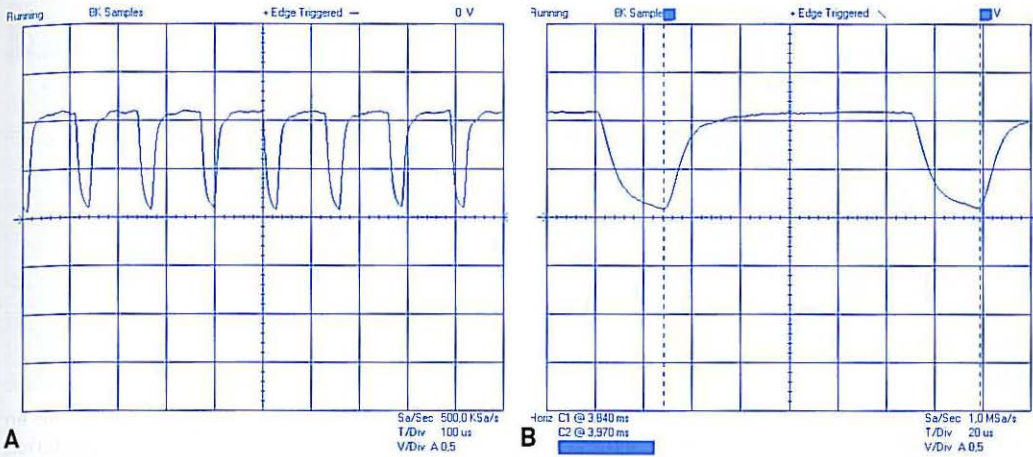


Figura 5-24. Análisis de una corriente galvánica pulsada con un componente galvánico aproximado al 80 %. A) Se observa cómo los pulsos son mucho mayores que los reposos. B) Se mide el período y se observa que delta (el período) es igual a 130,4 μ s.

defecto, se someterá a un estudio con osciloscopio. En caso de no conocer su componente galvánico, debe usarse con prudencia o considerar que posee casi el mismo porcentaje que la corriente galvánica pura (próximo al 100 %).

Medida de la intensidad eficaz de una corriente pulsada

Ya se ha reiterado en varias ocasiones que los estimuladores miden la intensidad de pico y estaría bien que incluyeran también la eficaz. En muchas corrientes, esta circunstancia no tiene mayor importancia, pero ante las galvánicas interrumpidas o monofásicas pulsadas, el fisioterapeuta está obligado a considerarla para evitar quemaduras en los pacientes.

Si se desea medir la intensidad eficaz (o el componente galvánico) de una corriente monofásica pulsada, se necesitan: el estimulador, una resistencia de carga (resistencia óhmica pura) y el correspondiente miliamperímetro (polímetro).

El polímetro se coloca en serie con la resistencia para medir intensidad (Fig. 5-25 A). En la figura 5-25 B se ha ajustado un estimulador con pulsos cuadrados de 4 ms, reposos de 6 ms y se ha elevado

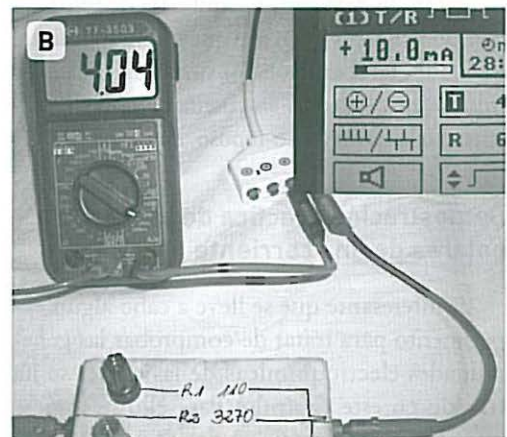
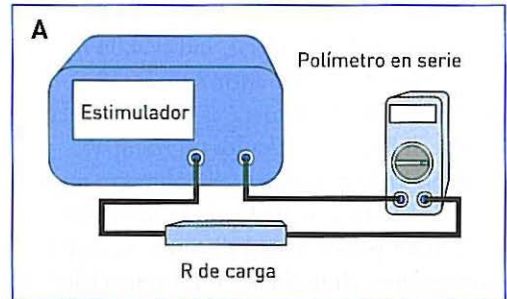


Figura 5-25. A) Se representa el esquema básico para medir la intensidad de una corriente. B) Se aprecia el montaje de la medida eficaz ante pulsos de 4 ms y reposos de 6 ms, con 10 mA de intensidad de pico. R: resistencia.

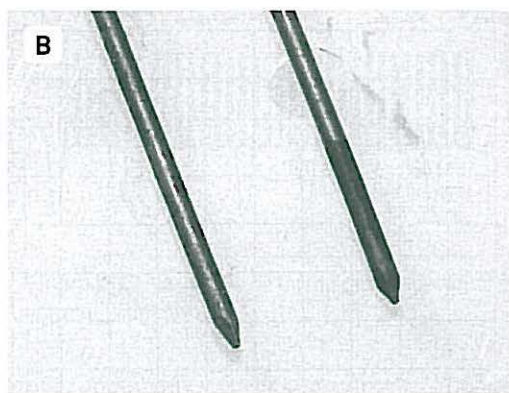
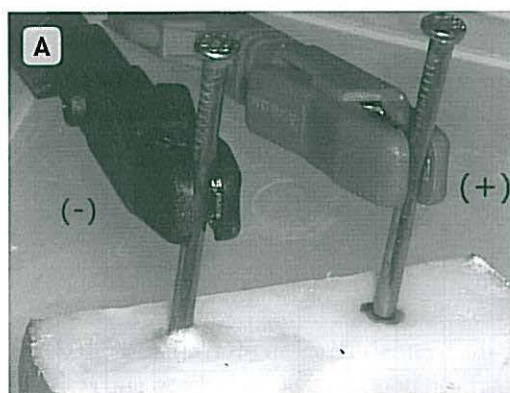


Figura 5-26. A) Se aplica corriente galvánica a través de unos clavos de hierro galvanizado introducidos en una patata. B) Se observan los clavos de forma que el derecho (actuó de positivo) ha perdido su baño exterior.

la intensidad justo hasta 10,0 mA. Se aplica dicha intensidad sobre una resistencia óhmica (no importa mucho el valor) entre 500 y 5.000 Ω y se intercala el polímetro ajustado en mA-DC.

Como puede observarse, indica 4,04 mA, en tanto que el estimulador señala 10,0 mA. Prácticamente la primera es el 40 % de la segunda. Si hacemos cálculos así resultará.

A modo de conclusión, el polímetro mide la intensidad eficaz o RMS de la intensidad de pico. Si los pulsos fuesen distintos a cuadrados (triangulares, sinusoidales o exponenciales), el polímetro lo detectaría y cambiaría de valor del componente galvánico real que se está aplicando, mientras que el estimulador siempre indicará los mismos mA sin tener en cuenta la forma, la frecuencia, la razón pulso-reposo, etcétera.

Demostración práctica de los efectos polares de una corriente galvánica

Es interesante que se lleve a cabo algún experimento para tratar de comprobar las generalidades electroquímicas de las cuales se ha tratado en este capítulo. Para ello se sugiere que se corte una patata en dos mitades y sobre una mitad, por la cara recién cortada, se introduzcan dos clavos típicos, de hierro galvanizado. Mediante sus correspondientes pinzas, se los conecta a un estimulador en que se ha ajus-

tado la corriente galvánica para que aplique sobre este circuito la intensidad de 10 mA durante unos 10 minutos.

Se irá observando (Fig. 5-26 A) que la respuesta química cambia de un polo al otro. En el positivo [+] se descompone el metal de estado neutro a ion y se introduce en el tejido que forma la patata. En el [-] se va generando una «babilla» y algunas burbujas de gas.

Al finalizar la aplicación y extraer los clavos, se nota que el [+] está atrapado y el [-], muy libre, circunstancia que es trasladable a las quemaduras galvánicas por electrólisis, como en la EPI, en la cual se debe usar el electrodo [-]. Si se observa el aspecto de los clavos (Fig. 5-26 B), el que fue [+] ha perdido el brillo y su baño galvánico exterior, es decir, en el positivo se produjo la oxidación y de forma recíproca, en el [-], la reducción.

Dado que los metales poseen carga iónica positiva, al pasar de estado neutro al de ion, son rechazados del ánodo hacia el interior de la patata. En el cátodo se acumularían (o no se desprenden) los iones metálicos; por ello, los clavos muestran ese aspecto después de la aplicación. Esto también demuestra la posible toxicidad de los electrodos metálicos (salvo que sean de acero inoxidable muy estable).



Autoevaluación

Material complementario en el sitio web

- Autoevaluación
- Vídeos:
 - 5-1. pH del agua





6

Tratamientos con galvanismo

Contenido

- Desarrollo de las diversas técnicas terapéuticas derivadas de la galvanización
- Contraindicaciones, precauciones y cuidados a la hora de aplicar las técnicas de galvanización

Objetivos de aprendizaje

- Conocer las diferentes técnicas de forma detallada y con suficiente profundidad como para conseguir el dominio práctico (tras superar el aprendizaje teórico).
- Insistir de forma profusa en las contraindicaciones y precauciones que merecen las técnicas derivadas de la galvanización.

Síntesis conceptual

- ✓ Este capítulo es la continuación del anterior, pero está dedicado a desarrollar diferentes técnicas concretas derivadas del galvanismo.
- ✓ Contiene un importante componente práctico, por lo que el lector debe trasladar a la aplicación práctica y a la experimentación las técnicas en él descritas.
- ✓ Los temas dirigidos a profesionales y profesores sugieren vías experimentales para avanzar en la electroterapia y animar a los alumnos destacados a investigar por esas vías.
- ✓ Es muy importante dominar las contraindicaciones y precauciones que deben tenerse en cuenta cuando se trata a los pacientes, pues estas técnicas requieren la debida consideración y dominio profesional.

ALGUNAS APLICACIONES Y TRATAMIENTOS CON GALVANISMO

En el capítulo anterior ya se ha hecho referencia al galvanismo. En éste se describirán algunas aplicaciones y en el capítulo siguiente se tratará de forma específica la *iontoforesis*.

Efectos polares en procesos agudos

A continuación se presenta un caso práctico, cuyas circunstancias se tratarán de analizar someramente, así como el tratamiento que sería adecuado.

Supóngase un golpe en el dorso de la mano con consecuencias de aplastamiento y destrucción de tejidos subcutáneos, sin herida.

La zona entra en un proceso agudo de inflamación reparadora, con sus características de calor, color, dolor y tumor (añadida su posible impotencia funcional, que en este caso no se valora), síntomas producidos por una vasodilatación exagerada que aporta nutrientes y fagocitosis de desechos metabólicos (catabolitos), además de otros residuos procedentes de la destrucción celular y derrames.

Los catabolitos (o sustancias que deben eliminarse) son de carga iónica predominantemente $[-]$, lo que produce un efecto irritante en las terminaciones nerviosas y acidez en el pH, con lo cual se impide la liberación del dióxido de carbono en el sistema circulatorio.

El organismo se defiende mediante vasodilatación localizada, diapédesis, extravasación de agua y aceleración metabólica, ya que si la circulación no se alterara la diferencia de potencial entre el líquido intersticial y el vaso sería $[-]$ hacia la linfa, cuando en este caso debe ser al contrario.

El organismo reacciona con un aumento del riego, con lo cual la diferencia de potencial se hace $[-]$ en el vaso, lo que permite la ósmosis entre ambos: se reducen los catabolitos, la linfa se hace más $[+]$, más fluida y se reduce la acidez. El pH asciende y puede alcanzar valo-

res elevados en exceso por reacción inflamatoria exagerada.

Si en este proceso agudo se pretende realizar un tratamiento para detener la reacción exagerada de la inflamación, tiene que aplicarse el electrodo $[+]$, ánodo, sobre el foco inflamatorio con el fin de buscar los siguientes efectos:

- reducción del metabolismo,
- vasoconstricción,
- coagulación y
- sedación del dolor inflamatorio.

Juntamente con estos efectos más inmediatos habría otros de:

- rechazo y freno del trasvase de iones $[+]$ (que estaba aportando la vasodilatación tal vez de manera exagerada) y
- desalcalinización de la zona hasta devolverla al pH adecuado o a su mejor punto fisiológico.

Efectos polares en procesos crónicos

Con todo, supóngase que ha pasado tiempo y el proceso en el dorso de la mano continúa sin resolverse, el problema y la lesión se cronicizan y se convierten en una zona de edema indurado, en estado de gel, en fase proliferativa de colágeno, atrapado entre una red de fibras de colágeno, zona poco dolorosa, además de presentar cierto nivel de impotencia funcional en momentos de requerimiento al esfuerzo por degeneración cicatricial de los tejidos lesionados.

Ello implica que aparezca un edema con poco riego en la zona. Los vasos son escasos, estrangulados y constreñidos por la fibrosis. El edema se encuentra indurado porque la linfa es deficitaria en agua y está atrapada entre fibras de colágeno, en estado de gel debido al bajo metabolismo, o como reacción de defensa del organismo ante una acumulación de catabolitos coagulados y precipitados, los cuales no pueden elimi-

narse por disolución en el medio, ni tampoco por vía linfática o vía sanguínea.

Para romper este círculo vicioso con el galvanismo basta con detenerse a pensar en sus efectos polares y aplicar los opuestos a los observados en la zona.

Se aplica el cátodo [-] con el objetivo de:

- Conseguir vasodilatación circulatoria.
- Favorecer el intercambio de sustancias y eliminar el edema.
- Rechazar a los catabolitos [-] de la zona por efecto de cataforesis o electroforesis negativa.
- Aumentar la licuación para que la zona pase del estado de gel a soluto.
- Producir reacción alcalina para cambiar el pH local que era ácido.
- Irritar las terminaciones nerviosas de la zona para que el organismo manifieste una pequeña reacción inflamatoria capaz de resolver esa enfermedad cronicada.
- Lograr que el calor producido por el galvanismo y los cambios químicos también contribuyan a la vasodilatación.
- Lograr que el calor y la agitación electroquímica de la zona aceleren el movimiento browniano al favorecer los intercambios químicos y la disolución de las sustancias precipitadas o coaguladas.

Al producir todos estos efectos primarios o inmediatos se mejora el metabolismo, se elimina el edema, se restablece una circulación sanguínea reparadora y se alivia el dolor local por ahuyentar a los catabolitos que estaban irritando de forma química las terminaciones nerviosas (nociceptores químicos).

Se hallarán situaciones y enfermedades en que el dolor u otros síntomas no obedecen a alteraciones morfológicas de la zona sino que son reflejos debidos a motivos nerviosos que se producen a distancia del lugar de la manifestación sintomatológica. Un ejemplo de esta manifestación es la epicondilitis.

La epicondilitis, así como la epitrocleitis, puede producirse por lesiones morfológicas causadas por traumatismos o sobrecargas locales en que se debe aplicar la técnica de galvanización oportuna y local.

En otras ocasiones, la epicondilitis se manifiesta como un problema secundario a compromisos de las raíces nerviosas del plexo braquial, de manera que si se desea eficacia en el tratamiento debe abordarse el problema por la vía de aliviar el compromiso nervioso, además del local o, cuando menos, tratar de anular el dolor aplicando las técnicas galvánicas dirigidas al sistema nervioso: efectos *ascendente* o *descendente*.

En concreto, el efecto descendente se conseguirá para la epicondilitis al localizar el *ánodo* [+/] en la zona cervical y el *cátodo* [-] en el extremo distal del miembro superior (con la mano sumergida en una cubeta con agua, en la cual se introduce el electrodo). Así se conseguirá un resultado de sedación en todo el miembro superior sometido a tratamiento por efecto descendente.

Baño galvánico

Para influir sobre el sistema nervioso (referido en el párrafo anterior), se practican baños galvánicos en todo el cuerpo o en grandes zonas de él, tras sumergir al paciente en una bañera (Fig. 6-1).

La bañera es de material aislante, más grande de lo habitual y con placas metálicas en sus paredes a modo de electrodos. Cada electrodo puede seleccionarse de forma independiente como cátodo [-], como ánodo [+] o anularlo mediante su cuadro de mandos. En dicho cuadro también se encuentra el potenciómetro regulador de la intensidad que se aplicará y un aparato de medida para conocer los amperios aplicados.

La distribución de los electrodos suele ser:

- Un electrodo amplio y más alto que ancho en la zona de apoyo de la espalda y la cabeza



Figura 6-1. Bañera galvánica.

(los electrodos no pueden contactar directamente con el cuerpo).

- Dos electrodos en la pared de los pies (uno para cada pie).
- Tres electrodos en cada lado de la bañera colocados de manera equidistante entre sí.
- Un electrodo «cepillo» móvil o fijo, destinado a situarlo estático a voluntad en la zona que se desee, o a desplazarlo de modo manual durante la sesión. Este tipo de electrodo lógicamente posee un cable con su clavija que se conecta a su propio borne de contacto disponible en la bañera a tal efecto.

Como se ha afirmado, los electrodos en ningún momento pueden contactar de manera directa con la piel cuando se hallen bajo la influencia de la corriente.

Los electrodos estarán compuestos de un metal lo más inerte posible a los ataques electrolíticos con el fin de impedir su corrosión o liberación de sustancias perniciosas al agua, que pueden penetrar dentro del organismo por el mismo efecto de electroforesis o por difusión a través de la piel. No debe hacerse trabajar a dos electrodos inmediatos en su proximidad con polaridad opuesta, ya que al encontrarse muy cerca pasaría gran parte de la corriente por el camino más corto entre ambos sin influir en el cuerpo.

El mecanismo de acción en la bañera va a depender del hecho de si en el agua se disuelve previamente alguna sal o sustancia que favorezca la conducción o no. Asimismo, los mecanismos de actuación también serán distintos.

El agua destilada presenta una resistencia muy alta a la corriente galvánica, pero si contiene disueltas una variedad de sales y otros iones se va volviendo conductora de manera proporcional y de acuerdo con el grado de solutos que contenga.

¿Cuándo se considera que el agua contiene abundancia o escasez de solutos? El agua destilada no contiene ningún soluto y no es conductora frente a la corriente galvánica (pero lo es frente a corrientes alternas). El agua del grifo (dependiendo del lugar) suele contener determinados valores considerados potables, pero suficientes como para conservar la conductividad eléctrica. Si se vuelcan en una bañera de 200 o 300 L 1 o 2 kg de sal, aumentará de forma considerable el nivel de conducción eléctrica.

Si *no se disuelven sustancias ionizantes* (sólo las del agua potable), la corriente buscará el camino más fácil, formado en este caso por las disoluciones orgánicas del paciente (a pesar de la barrera que supone la piel). Los efectos son los propios del galvanismo basados en los modos polares, interpolares, ascendente o descendente.

Sin embargo, si *se disuelve sal común* en cantidad suficiente (situación más habitual), la

energía eléctrica circulará por los iones de la disolución acuosa sin superar la barrera de la piel ni penetrar en el organismo. En este caso, el mecanismo de acción consiste en crear una carga eléctrica y de iones, inmediatamente por fuera de la piel que influirá al otro lado debido al efecto de electroforesis, es decir, se generará otra carga eléctrica inmediatamente debajo de la piel de signo contrario a la externa por repelerse entre sí los iones y las cargas del mismo signo. Se trata de un efecto capacitativo a ambos lados de la piel.

Del primero al segundo caso se aprecia una diferencia básica que consiste en lo siguiente:

- En el primer caso, en las proximidades del ánodo, tanto en el agua como dentro del organismo, se acumularán iones de carga negativa $[-]$ y en el cátodo iones de carga positiva $[+]$.
- En cambio, en el segundo caso, en la zona polar del ánodo, en el agua se concentran los iones de carga $[-]$ y en el interior del organismo, los de carga $[+]$. En el cátodo se presenta la situación inversa.

Así pues, son dos técnicas totalmente distintas y de efectos contrarios, dependiendo de si se disuelve sal abundante en el agua de la bañera o no.

La intensidad de la corriente que el paciente debe soportar es muy variable, ya que depende de muchos factores; los más importantes (Fig. 6-2) son que los electrodos estén totalmente cubiertos por el agua, el número de electrodos conectados, que el agua tenga sustancias disueltas o no, el nivel de concentración de las sustancias y, sobre todo, la tolerancia del paciente.

Las bañeras están preparadas para que nunca superen el nivel máximo de intensidad considerado peligroso, de tal forma que, aunque se desee, no podrá sobrepasarse dicho límite.

Dado que no es posible indicar intensidades de referencia como norma, la pauta que debe tenerse en cuenta es la sensación del paciente,



Figura 6-2. Cuadro de mandos de una bañera galvánica. Además de la galvánica, se pueden aplicar otras corrientes, como las diadinámicas.

que consiste en el hecho de que éste manifieste sensación de picor, hormigueo o calor soportables siempre que no sufra alteraciones en la sensibilidad. No cabe duda de que esta referencia es imprecisa, subjetiva y poco fiable.

De nuevo surge la duda planteada ante el siguiente hecho: si se aplican 500 mA y se desconoce la resistencia del circuito, ¿estará pasando mucha energía eléctrica o poca? Se necesita saber la resistencia y el voltaje para obtener la potencia real aplicada. Por lo tanto, las bañeras galvánicas deberían incluir medidores de voltaje y, tal vez, de la resistencia del circuito. Por estas razones podría escucharse (en más de una ocasión) a los técnicos que saben de electricidad el siguiente comentario: ¿...pero vosotros sabéis en realidad lo que estáis haciendo con esta máquina...? Por ello, apenas se aplica.

Otro efecto que debe considerarse sobre el organismo es el cambio de pH en el medio en que se encuentra sumergido el paciente, es decir, próximo al electrodo $[+]$ se acidifica o baja el valor y próximo al $[-]$ se alcaliniza o sube el valor. Esto se debe al hecho de que el agua común (del grifo), cuando se somete a una corriente galvánica, modifica el pH cercano a los electrodos, pero si se disuelve sal común se vuelve muy alcalino en las proximidades del $[-]$ y se reduce la acidez en el $[+]$.



Práctica experimental

Para demostrar el cambio de pH que se produciría en una bañera galvánica (después de haber pasado la corriente durante unos minutos), se toman muestras (con una jeringa) del agua próxima al ánodo y al cátodo. Se mide su pH en sendos tubos de ensayo y después se observa la modificación.

Se traslada el experimento a una cubeta con capacidad para 1 L de agua [Fig. 6-3]. Se vierte 0,5 L de agua del grifo (el agua destilada no es útil). Se introducen dos electrodos en sendos extremos. Se vierten unos 5 cm³ de algún marcador de pH por pigmentación, como el azul de bromotimol o el rojo de clorofenol (marcadores de pH en la banda media).

Debe procederse con gran cuidado durante la manipulación de estos marcadores por su toxicidad.

En la figura 6-3 A (antes del paso de la corriente) se observa la homogeneidad de color que indica el mismo pH por toda la cubeta. Se aplican unos 10 mA de corriente galvánica pura y se va apreciando cómo se tornan los colores de forma progresiva y característica de la respuesta del azul de bromotimol: amarillo (ácido) en el ánodo y azul (alcalino) en el cátodo.

Debe tenerse sumo cuidado con la inhalación de los gases que se generan con el azul de bromotimol.

En estos experimentos es fundamental intercalar un miliamperímetro y un voltímetro.

Si se analiza la figura 6-3 B, puede observarse cómo las zonas de influencia de los electrodos no se limitan al agua muy próxima al electrodo, sino que avanzan de forma importante hacia una zona central o zona de interfase.

Esto demuestra que el paciente introducido en una bañera galvánica, al pasar la corriente se ve envuelto por un pH modificado en las proximidades de los electrodos. ¿Cómo influye el pH del medio en que se sumerge al organismo? Está claro que influye de forma muy importante porque, si los valores se alejan mu-

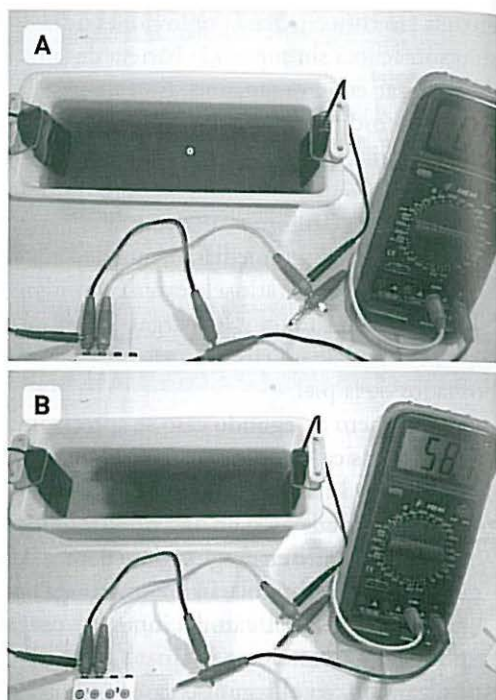


Figura 6-3. A) No pasa la corriente galvánica (voltímetro a 0) y el pH es homogéneo en toda el agua. B) Una vez que la corriente galvánica ha pasado durante unos minutos (58,7 V y 10 mA), el pigmento indicador de pH adquiere un color amarillo en el [+] y azul en el [-].

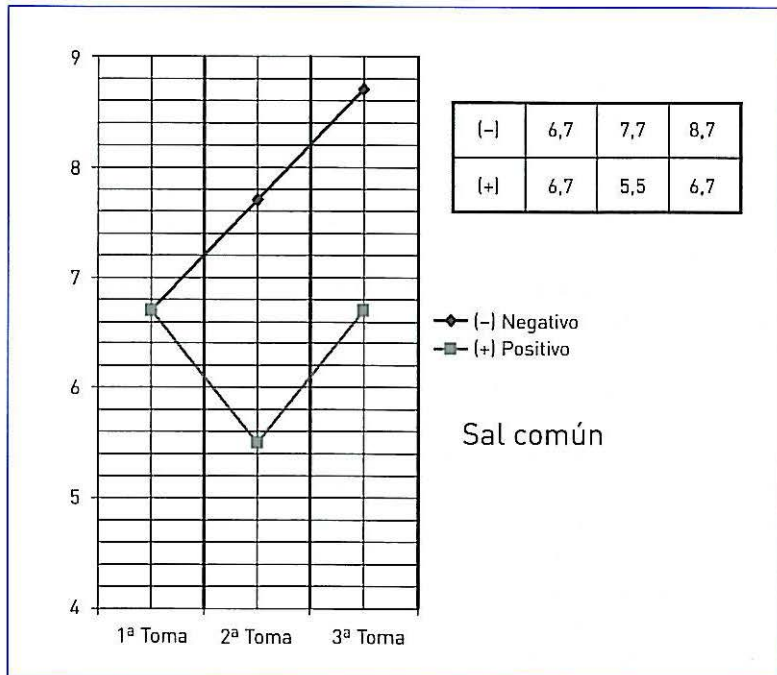
cho del valor medio, se producen agresiones o quemaduras en los tejidos afectados.

Cuando los valores difieren ± 1 o 2 puntos de la media (pH medio = 7), provocan movimientos y cambios osmóticos entre las disoluciones orgánicas y las externas a la piel o el contenido de la bañera.

En la figura 6-4 se observa la evolución del pH del agua de una bañera galvánica en las proximidades de los electrodos activados:

- Primera medición antes del paso de la corriente.
- Segunda medición unos minutos después del paso de la corriente.
- Tercera medición unos minutos después de verter sal común y del paso de la corriente.

Figura 6-4. Valores del pH en el agua de una bañera galvánica con tres medidas en las zonas polares de ambos electrodos: la primera toma, antes de aplicar la corriente galvánica; la segunda toma, después de aplicar la corriente galvánica, y la tercera toma, después de agregar sal común y continúa pasando la corriente galvánica.



En la segunda medida se observa cómo se diferencian y se distancian los valores de forma más o menos equidistante, y aumentan en el [-] y disminuyen en el [+]. En la tercera toma, ya con sal común, se observa una tendencia importante al predominio de la alcalinización general, que se acentúa más en el [-] y se invierte la tendencia en el [+].

Esta electronegatividad o electropositividad electroquímica generará (desde el exterior orgánico y al otro lado de la piel) cargas iónicas contrarias a las del medio conductor del baño galvánico (Fig. 6-5).

Si, por ejemplo, en el exterior de la piel se ha provocado un ambiente de electronegatividad [-] o pH por encima de 7, al otro lado de la piel se generará acumulación de cargas [+] o acidez con pH bajo.

una competición intensa, descargas emocionales importantes, espasticidad de parálisis centrales, flacidez, hipertonías, hipotonías, edemas, hematomas, etcétera.

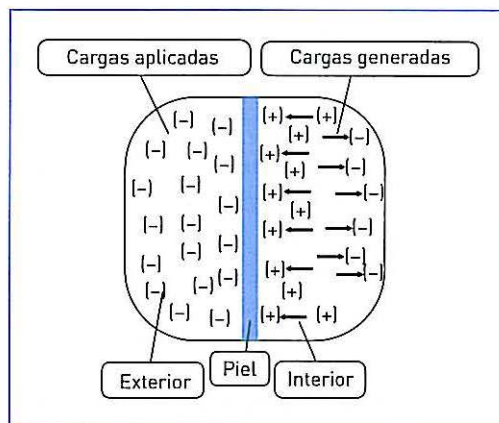


Figura 6-5. A la izquierda de la barrera de la piel se representa el exterior corporal o el agua de la bañera. A la derecha se dibuja el interior corporal. Las cargas generadas en el exterior provocan otras de signo opuesto al otro lado de la piel.

Tratamientos con la bañera galvánica

Es característico aplicar baños galvánicos en las lumbalgias, dorsalgias y ciáticas después de

Espondilalgias

Este tipo de dorsalgias y lumbalgias (p. ej., una fibromialgia) se manifiesta como enfermedades generales y crónicas debidas a procesos degenerativos con cuadros congestivos de los tejidos (musculares, miotendinosos, miofasciales y subcutáneos), procesos de grandes contracciones, riego sanguíneo disminuido, metabolismo deficiente, alteraciones de los equilibrios iónicos en los líquidos que bañan las células (también transmitido al interior celular), dolor por irritación de las terminaciones nerviosas, atacadas en este caso por los catabolitos acumulados en la zona, además de dolores neurógenos producidos por compresiones mecánicas de las raíces nerviosas a su paso por los túneles radiculares, sin considerar el componente psicógeno, sin duda coexistente con los síntomas, pero muy discutible como causante del proceso.

Los objetivos más inmediatos de tratamiento en estos casos pretenden, por un lado, mejorar el metabolismo de la zona y, por el otro, suavizar la reacción dolorosa de las compresiones nerviosas y la irritación de los nociceptores químicos.

Antes se ha descrito que la aplicación de cargas negativas genera otras de signo opuesto al otro lado de la piel por efecto de rechazo de los iones negativos (los catabolitos) que impiden el adecuado metabolismo e irritan las terminaciones nerviosas (Fig. 6-5).

Así pues, el tratamiento (sin sal) consistiría en tratar que el cátodo se localice en la espalda y proximidades con el fin de lograr el efecto más profundo, lo cual generaría la electroforesis directamente dentro del organismo; si se practica con sal en el agua, se aplicará el ánodo para causar electroforesis superficial.

El electrodo $[+]$ proximal producirá, sobre las raíces nerviosas y los axones, reacciones de enlentecimiento en los impulsos dolorosos que se conducen desde la zona afectada, disminuyendo y/o bloqueando los impulsos, mientras que el cátodo $[-]$ en la misma zona subirá el

umbral de polarización y los equilibrios metabólicos mejorarán.

Edema de miembros inferiores

Se procurará que la pierna resulte envuelta por cargas iónicas negativas $[-]$ para desplazar en profundidad los catabolitos acumulados en el líquido intersticial, inmediatamente bajo la piel, hacia la circulación de retorno profunda para buscar su absorción y arrastre.

Para conseguir este objetivo debería disolverse bastante sal en el agua con intención de que los iones Cl^- se concentren en la zona polar del ánodo $[+]$ y, a su vez, dicha zona polar se extienda hasta englobar al miembro tratado.

La polaridad o diferencia de potencial creada a ambos lados de la piel sirve para que las cargas del mismo signo se repelan y se atraigan las de signo contrario, con lo que dentro del organismo se evacuarán los catabolitos, atraerán a la linfa del miembro los cationes metálicos, tan necesarios para que el nivel metabólico sea el adecuado ya que se encontraba alterado a causa del edema, lo cual contribuirá a su eliminación.

Es habitual escuchar de los enfermos que se les ha aplicado baños galvánicos con efecto descendente, que en las horas siguientes se encontraban somnolientos, pesados, abúlicos, sedados y con dificultades para conducir su vehículo (situación sobre la cual se les debe prevenir).

Las sesiones suelen durar de 10 a 20 minutos. Es conveniente observar las reacciones de cada paciente en las primeras sesiones, ya que cada persona responde con mayor o menor sensibilidad a la intensidad aplicada y a las respuestas biológicas generadas. El paciente debe estar cómodo, bien sujeto y seguro en la bañera, pues es muy fácil que se duerma o, incluso en algún caso, tenga bajadas considerables de tensión, favorecidas por la temperatura del agua (la cual no debe pasar de 34°C , es decir, unos grados por debajo de la temperatura corporal para que el agua todavía pueda refrigerar el calor generado por el organismo; Fig. 6-6).

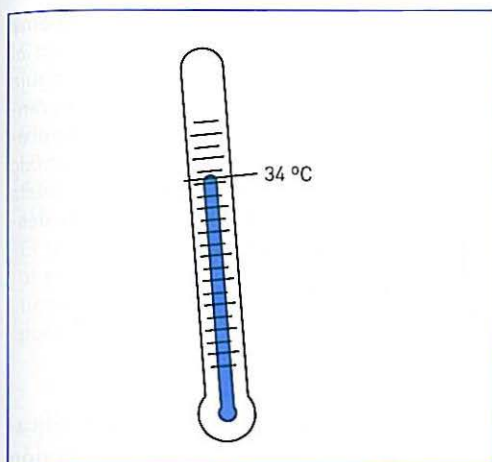


Figura 6-6. La temperatura del agua en las bañeras galvánicas no debe superar los 34 °C.

Los profesionales que han usado con cierta frecuencia la bañera galvánica saben, por experiencia, que se encontrarán con respuestas y reacciones poco contempladas, como: tejido de bañadores que se desmoronan, reacciones alérgicas ante cremas que porta el paciente sobre la piel, situaciones de nerviosismo y agitación en algunos pacientes (o somnolencia excesiva), escozor en genitales (que, por lo general, manifiesta un proceso infeccioso), bajadas de presión sanguínea importantes, etcétera.

Estas respuestas suelen provocar en los profesionales exceso de celo y prudencia, y es frecuente que se deje de aplicar el tratamiento con la bañera galvánica. Sin embargo, en enfermedades como la fibromialgia merece la pena profundizar en su uso y encontrar la modalidad de aplicación más efectiva.

Es muy importante vigilar que los pacientes sometidos a baños galvánicos no contengan en su organismo osteosíntesis metálicas, endoprótesis, dispositivos intrauterinos, etc., con la excepción de prótesis dentales, dado que por lo general se mantendrán fuera de la influencia del campo eléctrico. Asimismo, el paciente no debe mantener sobre su cuerpo adornos metálicos.

Quemadura electrolítica

El galvanismo se emplea para producir quemaduras de pequeñas zonas en alteraciones de la piel: verrugas, papilomas, folículos pilosos, granos, terminaciones nerviosas, nervios transmisores de dolor, etcétera.

El efecto de *electrolisis* que debe evitarse en todo momento cuando se aplique galvanismo, del cual se está tratando hasta este punto como efecto secundario no deseado, es precisamente el efecto buscado en este caso y consiste en alterar la estructura química de la materia que rodea al electrodo hasta el punto de destruirla por quemadura electrolítica.

Hasta este momento, se está expresando un concepto por el cual hay que evitar el contacto directo de los *electrodos metálicos* con las superficies donde se aplica el galvanismo. Asimismo, entre la piel y el electrodo se deja una zona ocupada por otra disolución, la cual transmite a la piel los efectos electroquímicos sin llegar a producir cambios químicos intensos.

La técnica que se estudia a continuación se basa en lo contrario: aplicar el electrodo metálico de acero inoxidable para que al llegar los iones al electrodo se sedimenten y se transformen en precipitados de elementos atómicos, eléctricamente neutros, los cuales atacarán y destruirán los tejidos próximos al electrodo con su acidez o alcalinidad.

Se usan dos electrodos, uno amplio en forma de placa o cilindro que se aprehende con la mano actuando de *masa* (metálico para reducir al máximo la resistencia), mientras que el otro, *activo*, posee forma de aguja que se aplica sobre la zona deseada y destinada a quemar (Fig. 6-7).

La quemadura electrolítica se produce como se afirma:

- *Ánodo*: quemadura ácida y coagulada.
- *Cátodo*: quemadura alcalina y licuada.

En general se empleará el cátodo como activo, sobre todo por la facilidad para retirar el

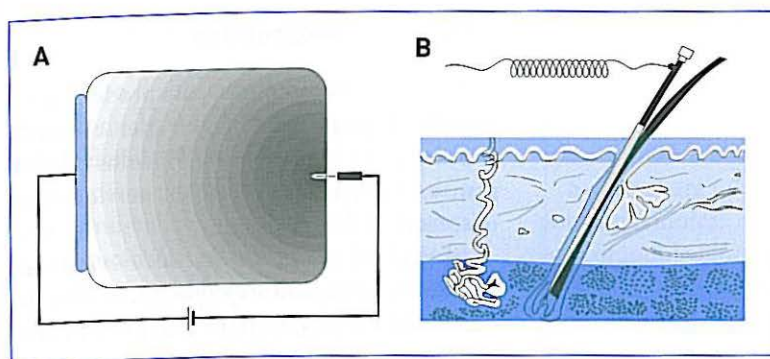


Figura 6-7. A) Esquema del circuito básico en el cual un electrodo aguja actúa de activo y, el grande, de masa. B) Representación de un electrodo aguja que penetra hasta el folículo piloso para destruirlo.

electrodo de la zona una vez que se ha realizado la quemadura.

Esta forma de galvanismo se usa con frecuencia para un tipo de depilación eléctrica (Fig. 6-7): se introduce la aguja en el folículo piloso, se hace pasar la corriente durante unos segundos y se retira el pelo junto con la aguja electrodo. Se requiere dominio de la técnica y, sobre todo, control de la potencia eléctrica aplicada y el tiempo durante el cual se aplica (dosis).

Otra terapia muy interesante y precisa consiste en la *rizólisis* o destrucción controlada de raíces nerviosas sensitivas, que conduce a dolores persistentes, técnica ésta menos invasiva que la rizotomía quirúrgica. A continuación se describe.

Rizólisis o coagulación anódica de la raíz sensitiva



Se basa en provocar el paso de corriente galvánica por un electrodo en forma de aguja con el fin de producir un foco de coagulación o quemadura en las proximidades, que invada la raíz nerviosa que se desea coagular.

En esta ocasión, como se deduce del título, el electrodo activo (aguja) es el ánodo [+], que causa reacción ácida y coagulación.

La parte más complicada de esta técnica se encuentra en el acceso con precisión a la zona (por localizarse en las proximidades del agu-

jero de conjunción vertebral) y en la dosificación con exactitud para conseguir la agresión pretendida y controlada, y evitar que invada tejidos no previstos.

De forma lógica es una técnica fuera de la fisioterapia y que debe realizarse en el quirófano, pero su mención se hace con el fin de reafirmar conceptos y para demostrar que se necesita superar la medida de dosis basada tan sólo en el parámetro de mA.

Por lo que se refiere a la localización, se logra con un buen conocimiento anatómico de la zona, con ayuda de técnicas de imagen (como ecografía) y exploración previa por estímulos eléctricos cuadrangulares al intentar que el paciente manifieste sus sensaciones. Tras escucharlas y valorarlas de su propia voz, se decidirá si la colocación del electrodo es la correcta o se modifica.

En cuanto a la dosis adecuada, según la experiencia de algunos autores, se considera que para producir un bloque o coágulo de 6 mm de diámetro son necesarios 300 J.

¿Por qué hay que utilizar la unidad de trabajo en J? La razón está en la variabilidad de cada factor que influye en una aplicación de galvanismo. Se trata de factores como intensidad, voltaje, tiempo y resistencia del tejido. Al modificar uno o varios de estos parámetros, cambian los resultados finales; por ello, debe buscarse una unidad final a las formulaciones de todos los factores aunque éstos puedan cambiar.

Caso práctico

Se desea producir un coágulo de 6 mm de diámetro con 300 J. Se dispone de un aplicador de corrientes galvánicas con 12 V de salida, intensidad regulable y se pretende llevar a cabo en 30 s. ¿Qué intensidad deberá aplicarse?

El julio (J) es la unidad de trabajo equivalente al producto de la potencia en vatios (W) por el tiempo en segundos (s) que se aplica a dicha potencia. Luego:

$$J = W \cdot t$$

Se tienen como variables o valores dados los J y el t; como incógnita, los W:

$$W = \frac{J}{t} = \frac{300}{30} = 10 \text{ W}$$

Deben aplicarse 10 W durante 30 s para producir un coágulo de 6 mm de diámetro.

Sin embargo, el problema solicita la intensidad en A. Para hallarla tiene que acudir a la ley de Ohm, en la cual, aplicada a la potencia, se indica:

$W = V \cdot I$; la incógnita es I en A

$$I = \frac{W}{V} = \frac{10}{12} = 0,8 \text{ A [800 mA]}$$

La resistencia del tejido influye de forma directa sobre los parámetros de intensidad y voltaje; en este caso, en apariencia no se ha tenido en cuenta (pero está implícita) por la adaptación automática del aparato, es decir, si hubiera poca resistencia, con poco giro del mando de intensidad, se alcanzarían valores altos. Sin embargo, si la resistencia fuera alta, se necesitaría mucho giro del mando de intensidad para conseguir la misma intensidad del primer intento. El equipo generador de energía eléctrica deberá trabajar en tensión constante (VC).

una pequeña quemadura electrolítica intratisular al introducir una aguja de acupuntura guiada por ecografía.

Se recomienda revisar el apartado sobre rizólisis para comparar la forma de dosificación entre ésta y la EPI.

En procesos de pequeñas lesiones en que el tejido cicatricial ha evolucionado sin el debido riego (localizado por ecografía Doppler; Fig. 6-8) se quema para permitir una nueva regeneración o neoformación con la debida irrigación.

Con una aguja de acupuntura (que puede ser guiada también por ecografía) se accede justo al tejido alterado, se aplica una corriente galvánica entre 4 y 6 mA durante 2-4 s y se retira la aguja (Fig. 6-9).

Microgalvanismo

Hoy día, el microgalvanismo hace referencia a dos técnicas:

- Aplicación estándar de la corriente galvánica con intensidades que no superan el valor de 1 o 1,2 mA por todo el electrodo (Fig. 6-10).
- Aplicación sobre grandes electrodos que invaden gran parte de la superficie corporal, de manera que, al dividir la intensidad aplicada entre la superficie, se obtienen valores de densidad de energía muy bajos.



Figura 6-8. Con la ecografía y el Doppler se localiza con precisión la lesión y su estado tisular.

Electrólisis guiada percutánea intratisular

La electrólisis guiada percutánea intratisular (EPI) es una técnica consistente en generar

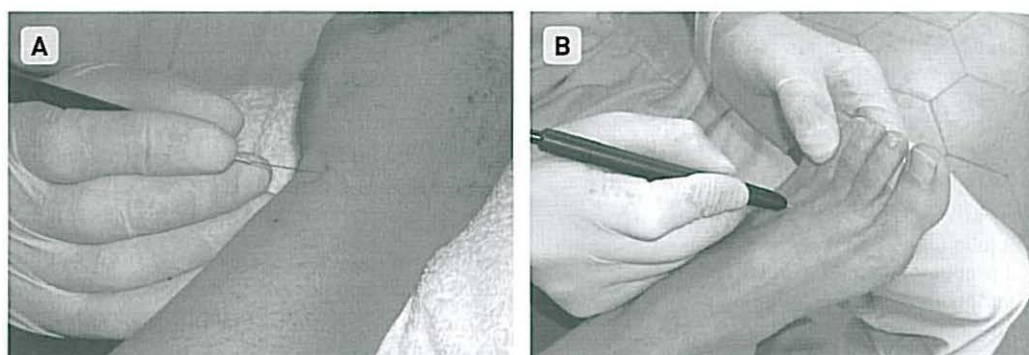


Figura 6-9. Microelectrólisis percutánea con agujas de acupuntura.

Con la modalidad de corriente microgalvánica, cuyo valor máximo es de 1 a 1,2 mA, el paciente no siente la corriente. La densidad de energía en mA/cm² puede llegar a ser de 0,02 mA/cm² (ello supone un electrodo activo de unos 50 cm²).

Se le atribuyen efectos de biorregeneración celular y aceleración de los procesos cicatriciales en enfermedades traumáticas y agudas.

La segunda modalidad (usada en fisioestética) se realiza con amplias envolturas de vendas anchas humedecidas por toda la zona que debe tratarse o, incluso, por todo el cuerpo, de manera que sea a través de las vendas humedecidas y la piel por donde circule la corriente. Es una técnica basada en la aplicación de galvanismo a dosis muy bajas, es decir, poca inten-

sidad por cm², aunque los valores de paso sean elevados (de 15 a 25 mA).

Sobre los vendajes húmedos se enrollan cintas de goma conductoras, a las cuales se aplican terminales del cable que llevan la corriente. Dichos enrollamientos de goma quedan separados en dos sectores: uno craneal y otro caudal. Cada uno de los dos sectores será un polo. A cada sector de goma enrollada se le conectan terminales del mismo polo en varios puntos de forma simultánea, los terminales del cátodo o del ánodo, según la polaridad decidida.

El efecto buscado está determinado por la concentración de cargas eléctricas en la zona de venda humedecida y las de signo opuesto que se provocan al otro lado de la piel, situada bajo el electrodo respectivo. Inmediatamente por dentro de la piel, bajo el enrollamiento del cátodo, habrá fuerzas eléctricas [-], mientras que bajo el enrollamiento del ánodo aparecerán las fuerzas [+].

Precisamente, el efecto de electroforesis consiste en crear cargas eléctricas a un lado de una membrana (piel) para lograr que las cargas del mismo signo existentes al otro lado de la membrana se desplacen y se alejen de la zona (Fig. 6-5).

Las aplicaciones más indicadas para esta técnica son los procesos edematosos y las alteraciones o dificultades metabólicas del tejido celular subcutáneo (celulitis).

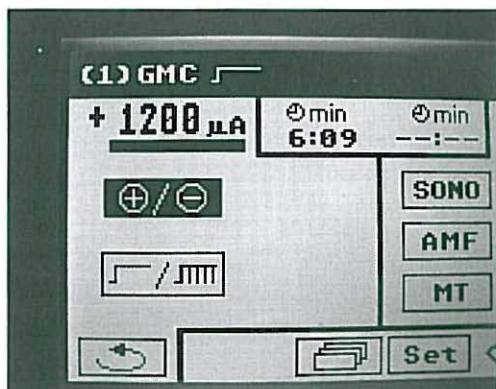


Figura 6-10. Pantalla de un equipo con microgalvánica en la cual se aprecia cómo la intensidad máxima alcanza hasta los 1.200 µA [1,2 mA].



Vídeo 6-1. Microgalvánica

Galvanopalpación

Es una vieja técnica exploratoria que consiste en la aplicación de galvanismo sobre la piel en zonas metaméricas (raíz de los dermatomas a ambos lados de la columna vertebral) para comprobar la respuesta neurovegetativa y sensitiva de las raíces nerviosas, según si inervan un órgano o una metámera afectada de enfermedad o sana (Fig. 6-11). Puede realizarse también con otras corrientes. Se requiere:

- Un aparato de galvanización.
- Un electrodo con su gamuza grande (es decir, 10 · 15 cm) que actúe como masa o pasivo.
- Un electrodo rodillo metálico (en su defecto, un electrodo puntual metálico o cabezal de ultrasonidos) que se deslizará sobre las zonas colaterales a las espinosas para explorar las respuestas de enrojecimiento, vasodilatación local y sensación dolorosa. Las

reacciones serán atribuibles a las terminaciones nerviosas sensitivas y vegetativas de la raíz metamérica explorada.



Vídeo 6-2. Galvanopalpación

Esta prueba también se practica en cualquier otra zona corporal que presente patología (o que se desee localizarla y objetivarla; Fig. 6-12) y con otras corrientes diferentes de la galvánica, como las diadinámicas, la corriente ultraexcitante de Trabert y otras que poseen componente sensitivo más definido. En los últimos tiempos se ha practicado con las corrientes generadas por los TENS. En caso de no disponer de electrodo de rodillo, un buen recurso es el cabezal de ultrasonidos aplicado en modo terapia combinada.

De lo descrito se observa que, cuando determinada raíz nerviosa está inervando un órgano o zona sometida a patología, si a este nervio se le estimula, responderá con manifestaciones neuro-

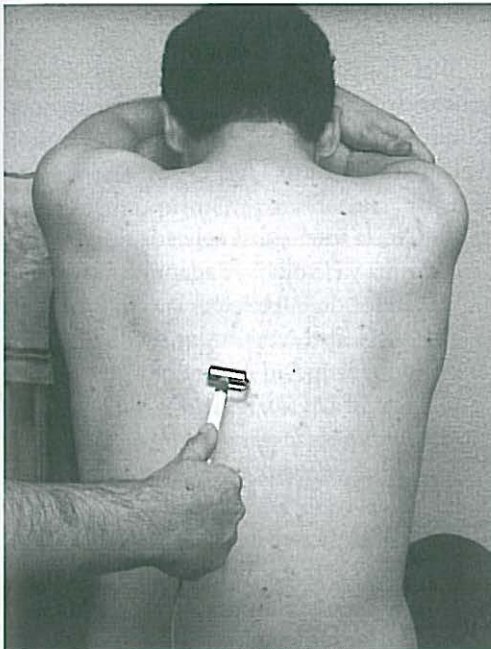


Figura 6-11. Galvanopalpación a lo largo de los paravertebrales en la columna.

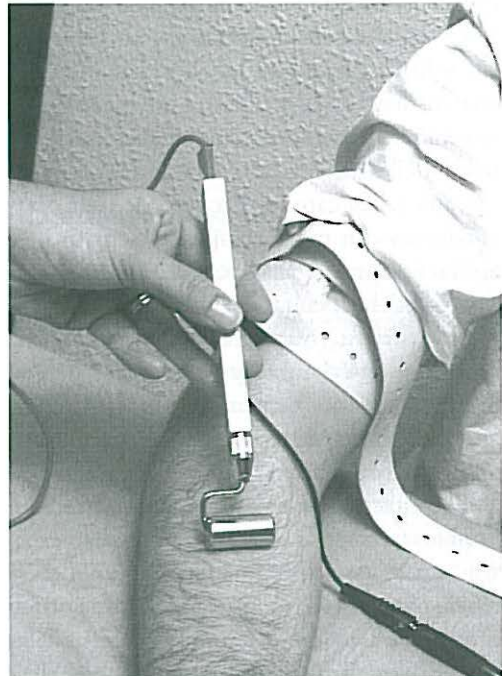


Figura 6-12. Galvanopalpación en una epicondilitis.

vegetativas más intensas que si inervara a un órgano sano. Siempre que se estimule una zona inflamada, la sensibilidad dolorosa aparecerá con facilidad debido a la hiperexcitabilidad de las terminaciones que en otras circunstancias transmitirían estímulos de percepción sensitiva superficial, profunda o información propioceptiva. Esta circunstancia puede inducir a plantear la siguiente pregunta: *¿Existen realmente los nociceptores?*

La técnica consiste en ir aplicando o *desliz*ando el electrodo exploratorio durante unos instantes sobre la zona (en caso de dificultad para el deslizamiento puede aplicarse gel de ultrasonidos sobre la zona que debe explorarse). El electrodo masa se fijará a distancia y en una zona equidistante de la exploración, como puede ser el abdomen.

La intensidad aplicada debe estar controlada en todo momento para impedir situaciones de molestias intensas e inesperadas del paciente. La intensidad se ajusta de forma que en las zonas sanas se genere estímulo de calambre eléctrico. Probablemente se requiera retocar la intensidad durante la exploración.

Como electrodo activo se usa uno de reducidas dimensiones que debe ser el ánodo (sólo con corriente galvánica) para buscar zonas de sensibilidad exacerbada. Las alteraciones serán más difíciles de detectar si se aplica la corriente galvánica y el cátodo. En caso de usar otras corrientes con mayor respuesta sensitiva, se aplicará de preferencia el cátodo [-].

No se debe levantar el electrodo mientras se aplica corriente, ya que ello significaría una sensación de calambre y fuerte picor para el paciente cuando se entra en contacto con el apoyo del electrodo o se retira éste, circunstancia que puede conducir a información errónea.

El contacto del electrodo debe ser firme, sin posibles fallos en la sujeción ni tampoco excesivas presiones que reducirían mucho la resistencia entre el electrodo y la piel, que pueden producir quemaduras, aunque no son fáciles por el poco tiempo que se mantiene el electrodo quieto (de 1 a 3 minutos).

Si se ajusta el equipo en voltaje constante (VC) en lugar de corriente constante (CC), podrá observarse cómo la intensidad aumenta al coincidir con las zonas de dolor. Sin embargo, dependiendo de los equipos y las corrientes, es posible que esta opción no se pueda elegir.

También podrá utilizarse este sistema en otras zonas reflejas del tejido conjuntivo (puntos neurolinfáticos de Chapman), sobre las cuales se observarán respuestas acentuadas de: sensibilidad dolorosa, vasodilatación llamativa y enrojecimiento local.

Esta respuesta aparece con otras técnicas, como ultrasonidos, láser, corrientes de baja y de media frecuencia, etc. Es importante entender si el inicio del dolor obedece a este efecto (y no a quemaduras) para utilizarlo como origen para aplicar la correspondiente técnica de analgesia. Este método está llevando a «reinventar» técnicas que hace años cayeron en desuso, pero que son de gran utilidad.

Galvanopalpación en CC o en VC

Si el equipo lo permite, puede realizarse la prueba de las dos formas, pero si el equipo no admite el cambio a VC, sólo se podrá realizar de la manera habitual (en CC):

- En CC, la intensidad aplicada siempre será la misma y el voltaje se adaptará a las modificaciones de la resistencia, circunstancia que no se apreciará en las mediciones del equipo, porque en general no muestran ni la resistencia ni el voltaje. *En esta modalidad se tendrá cuidado en no perder el contacto con el paciente mientras dure la exploración.*
- En VC, el voltaje se mantiene constante y la intensidad variará de acuerdo con los cambios de resistencia. Dado que los estimuladores presentan la intensidad, podrán observarse las variaciones en los valores de ésta y comprobar cómo sube en las zonas de dolor o de inflamación. *En esta opción se*

puede perder el contacto del electrodo con la piel del paciente y volver a recuperarlo sin problemas, pero hay que evitar iniciarlo justo encima de la zona de dolor.

La observación de la intensidad en sus valores ayudará a entender y a objetivar el comportamiento en la conductividad de los tejidos (semejante a los «busca puntos» de acupuntura).

En CC, al bajar la resistencia, disminuye el voltaje. En VC, al bajar la resistencia, aumenta la intensidad. Si los estimuladores mostraran el voltaje, en VC también se apreciarían las oscilaciones en sus valores.



Vídeo 6-3. Galvanopalpación en VC y en CC

Electroanalgesia guiada por galvanopalpación



Bernard, con sus corrientes diadinámicas, ya propuso la aplicación manual de electroterapia para analgesia, guiándose por los puntos de hipersensibilidad al dolor. Las aplicaciones de terapia combinada (ultrasonidos más estimulación eléctrica) es otra posibilidad. Sin embargo, en los últimos años se sugiere «como novedoso» la aplicación de TENS deslizables por el paciente y guiados de forma manual por el terapeuta, primero para detectar zonas de hiperalgesia y, en un segundo tiempo, para detenerse y tratarlas.

Un clásico es la modalidad de terapia manual combinada con estimulación eléctrica (Fig. 6-13), en la cual se presta especial atención al trayecto nervioso, a las zonas hiperálgicas y a las modificaciones de intensidad si se requieren por los comentarios y las quejas del paciente.

Estas técnicas deben practicarse con el equipo en la modalidad de VC. Si tuvieran que realizarse en CC, se prestaría especial atención para no perder el contacto con el paciente mientras se aplica la corriente.



Vídeo 6-4. Electroanalgesia manual

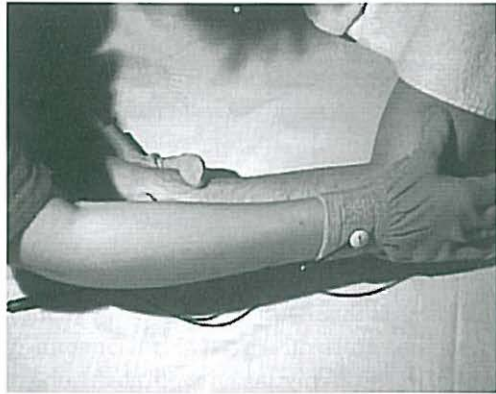


Figura 6-13. Aplicación manual de electroterapia a través de guantes (aislantes para el terapeuta y conductores para el paciente) a la vez que se realizan técnicas de terapia manual.

Las corrientes utilizadas pueden ser muy variadas dado que en este capítulo se está tratando de la galvánica; no es la más indicada para esta aplicación por su componente galvánico y posibles picos de intensidad que se pueden provocar, con la consiguiente molestia para el paciente. Normalmente se usan corrientes bifásicas de baja frecuencia o alternas de media frecuencia para evitar el componente galvánico y jugar con el efecto sensitivo e, incluso, motor (vibraciones musculares) para relajación muscular.

Hiperhidrosis



La hiperhidrosis consiste en la sudoración exagerada y localizada en algunas zonas del organismo (sobre todo, en manos y pies). Su origen y posibles causas no están bien controladas y definidas. Sin embargo, ha quedado demostrado que la aplicación de galvanismo sobre la zona afectada consigue reducir la hipersudoración.

Simplemente, se introducen los segmentos corporales afectados en sendas cubetas de plástico o maniluvios y pediluvios diseñados para esta técnica (Fig. 6-14 A y B) con agua potable del grifo. Dentro del agua se introducen los electrodos de goma conductora (no deben introducirse electrodos metálicos), debidamente

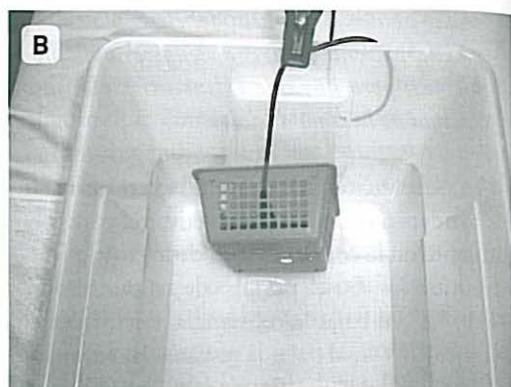


Figura 6-14. A) Sistema de maniluvios y pediluvios para aplicación de galvánica. B) El electrodo sumergido en la cubeta de plástico sencilla, para el baño galvánico, debe protegerse con otra cubeta pequeña y perforada que evite el contacto accidental.

6

protegidos para evitar el contacto directo con el paciente por descuido.

Aunque la técnica tiene variantes y en algunos casos no parece que sea muy eficaz, en muchos se obtienen buenos resultados tras aplicar sesiones repetitivas durante temporadas de varios meses (una media de 3 meses) con sesiones diarias al principio y en días alternos al final. Es importante continuar después de haber conseguido los objetivos pretendidos hasta completar un año con una sesión de recuerdo por semana.

Según el origen, la polaridad aplicada puede ser el [+], ánodo, o el [-] cátodo. En los

procesos con sudor ácido (pH bajo), el [-] resultará más eficaz, pero en los casos de sudor alcalino, el [+] será más adecuado. En otras circunstancias es indistinta la polaridad, que se irá detectando a lo largo del tratamiento, así como el predominio de una polaridad sobre la otra.

En cuanto a la colocación de electrodos, se dispone de dos opciones:

- Con electrodos diferentes en cada mano (Fig. 6-15 A).
- Con un electrodo en el origen del plexo y el otro en las dos manos (Fig. 6-15 B).



Figura 6-15. A) Aplicación en doble maniluvio, con un polo en cada mano. B) Un electrodo está situado sobre el plexo y el otro afecta a ambas manos de manera simultánea.

Se intentarán las dos posibilidades para hallar la más eficaz. En la primera se implica menos al plexo, mientras que en la segunda el efecto ascendente o descendente sobre el plexo es fundamental. En ambas situaciones se buscará la polaridad de los mejores resultados terapéuticos.

En esta segunda opción en que un electrodo se sitúa en el origen del plexo, el electrodo de la espalda puede fijarse sobre las raíces primarias (ramos cervicales) o sobre las raíces secundarias del simpático (ocho niveles por debajo de las primarias).

Las sesiones suelen durar entre 15 y 20 minutos, aunque las primeras deben ser de tanteo en cuanto a tiempo e intensidad. La intensidad dependerá mucho del electrodo más pequeño y se tratará de que circule la dosis recomendada de $0,15 \text{ mA/cm}^2$. En este caso, no es fácil calcular la superficie, dado que el contacto del agua con la piel será el tamaño del electrodo. En la práctica se aplican entre 20 y 25 mA.

Lógicamente se eliminarán todas las piezas de joyería y adornos metálicos en las manos del paciente, así como las del cuello. Si la corriente establece un circuito que puede afectar al corazón y el paciente tuviera un marcapasos, no se aplicaría este tratamiento.

CONTRAINDICACIONES Y PRECAUCIONES CON LA CORRIENTE GALVÁNICA

A continuación se describen las principales contraindicaciones y precauciones con la galvánica.

Endoprótesis y osteosíntesis. Se está afirmando de forma reiterada que, si los electrodos metálicos están en contacto directo con la disolución, sobre éstos se depositan las sustancias neutralizadas en forma de sólidos, líquidos o gases (circunstancia que no debe producirse

dentro del organismo). Si, por ejemplo, el sodio (Na) sólido se deposita sobre los metales de las endoprótesis, éste posee una capacidad de oxidación muy alta y reacciona de forma violenta con el agua: ello no debe ocurrir en nuestro cuerpo.

Así pues, una causa de contraindicación (si hay metales implantados) es evitar reacciones electrolíticas no deseables que puedan desencadenar fuertes reacciones de rechazo del implante metálico. Aunque no actúe como electrodo, dada la conductividad del metal, se acumularán en él fuertes cargas eléctricas que lo convertirán en un *seudoelectrodo*.

Con la galvánica, la quemadura nunca será por acumulación de calor en el metal, pues éste, aunque conduzca mucha electricidad, al no oponer resistencia, no generará ni transformará la energía eléctrica en calor dentro de él. No es así si la corriente aplicada fuera de onda corta o de microonda.

De todas formas, incluso sin aplicación de galvanismo, dado que en las disoluciones orgánicas la actividad electroquímica es alta, se producen ataques y reacciones químicas con respuestas variadas y de distinta intensidad por parte del sistema inmunitario.

Marcapasos. Los marcapasos son aparatos de precisión, necesarios para el control cardíaco y para evitar que el ritmo de los impulsos producidos por él se vea afectado por cualquier interferencia eléctrica. Por consiguiente, se evitará que cualquier tipo de aplicación en electroterapia pueda invadir el campo de actuación del marcapasos cardíaco. Por supuesto, se podrá aplicar el tratamiento sobre una extremidad siempre que el paciente esté debidamente aislado. Sin embargo, a causa del excesivo miedo, precaución e imprevisible comportamiento del campo eléctrico, se evita por exceso de celo.

Si la cubierta del marcapasos es metálica, también se le hará partícipe de las precauciones del apartado anterior.

Problemas cardíacos. En otras ocasiones no existen marcapasos, pero el sistema generador de impulsos cardíacos se encuentra muy afectado por diversas enfermedades, de modo y manera que, si dicho sistema está influido por campos eléctricos, puede alterarse el ritmo y la aparición de extrasístoles o ausencias temporáneas de latidos (arritmias en general).

Embarazo. Por precaución y por falta de conocimiento sobre lo que ocurre en las disoluciones fetales (con metabolismo y mitosis altísimos), es muy conveniente abstenerse de aplicar todo tipo de corrientes con el fin de influir lo menos posible en el proceso de gestación natural. ¿Es aplicable un campo eléctrico de galvánica en una pierna de una embarazada o en un brazo? Con seguridad es aplicable, pero el exceso de precaución de la propia mujer determinará otra alternativa de tratamiento.

Procesos cancerígenos. Los tumores malignos son agrupaciones de células que han perdido el control de su función, de su metabolismo y de su reproducción, por lo que las influencias electroquímicas del exterior *tal vez* contribuyan a mayor descontrol y favorezcan el proceso patológico. Por lo tanto, mejor se evitará esta técnica.

Tromboflebitis. Hay que diferenciar si el proceso es de inicio trombótico o flebítico dado que, con las debidas precauciones, puede estar indicada la galvanización:

- Si se está ante un fuerte proceso inflamatorio, sería conveniente frenarlo con la aplicación del *ánodo* y dosis pequeñas, como electrodo activo en la zona, aunque, a su vez, favorece que el trombo aumente de tamaño (situación muy contraindicada).
- Sin embargo, si el proceso inflamatorio no es tan importante, pero lo es, en cambio, el trombo, tendría que aplicarse el *cátodo* como electrodo activo, pero con la dosis su-

ficientemente baja como para impedir una rápida destrucción del coágulo y lo suficientemente alta como para que resulte eficaz. ¿Cuál será la dosis? Hasta que no se trabaje con la adecuada precisión, será mejor no correr riesgos que desencadenen graves patologías o investigar la metodología.

- Otra posibilidad es aplicar heparina con iontoforesis junto con la precaución de que la dosis galvánica sea muy baja y la concentración de heparina también tienda a estar diluida para evitar situaciones de descontrol en la zona afectada.

Precaución en las zonas próximas a las glándulas endocrinas. Cuando se lleven a cabo aplicaciones de galvanismo que no vayan destinadas a influir de forma directa en dichas glándulas, debe tenerse en cuenta su existencia o cercanía, ya que al verse afectadas se provocarían efectos a nivel general que no se buscan ni se desean.

Tratar de evitar efectos contradictorios. Puesto que los efectos del galvanismo se clasifican en *polares, interpolares y sobre el sistema nervioso*, tendrá que pretenderse que en todo momento actúen los tres de manera simultánea y valorar las posibilidades de colocación de electrodos y polaridades seleccionadas para evitar que alguno de los efectos no sea el contrapuesto o contradictorio al objetivo del tratamiento.

Piel en mal estado o con heridas. En general, los fisioterapeutas, siempre que aplican galvanismo, llevan a cabo la técnica transcutánea. Esto significa que la zona de piel sobre la cual se colocan los electrodos debe reunir condiciones de normalidad. En caso de presentar excoriaciones o soluciones de continuidad, aparecerá en ese lugar una disminución importante de la resistencia y por las excoriaciones se producirá concentración excesiva de energía eléctrica, la cual, quizá, provoque lesión o quemadura de los tejidos.

Todo lo que se ha descrito antes se llevará a cabo con mayor rigor sobre heridas, aunque sobre este tema se están aplicando microcorrientes pulsadas y microgalvanismo con buenos resultados experimentales que mejoran el trofismo de las úlceras por decúbito mediante pequeñas dosis de galvanismo con el cátodo, el cual alcalinizaría el entorno de los tejidos vecinos a la úlcera.

Sin embargo, existe una técnica para el tratamiento de las referidas úlceras con corrientes en que se evita todo componente galvánico, lo que, en cierto modo, contradice lo anterior en parte, puesto que los mecanismos de actuación son distintos (este tema se describirá más adelante, en el cap. sobre la técnica de estimulación nerviosa transcutánea o TENS).

Alteraciones en la sensibilidad del paciente. No es tan importante que el paciente pueda informar o no de las sensaciones recibidas cuando se le aplica galvanismo, pero su respuesta neurovegetativa de defensa frente a la corriente galvánica es importante.

Si el paciente no puede responder, pues la parálisis será motora, sensitiva y neurovegetativa, con mecanismos de defensa ante sus alteraciones electroquímicas, se corren serios riesgos de quemaduras o alteraciones electroquímicas por encima de los objetivos marcados.

Esta situación puede presentarse en tratamientos de parálisis periféricas si la sesión es muy larga y no se cambian los electrodos durante la sesión. Por ello, en el capítulo correspondiente se insistirá en que el tratamiento de la parálisis periférica se realice con electrodo manual y cambios de situación cada pocos minutos.

Precauciones ante respuestas neurovegetativas exageradas. En ocasiones se presentan pacientes que manifiestan fuertes respuestas neurovegetativas (generalizadas o locales) o alérgicas ante el galvanismo. Por esta razón, al iniciar el tratamiento, debe llevarse a cabo con precaución y administrar dosis bajas y tiempos

cortos como táctica de observación a la respuesta del paciente. Si la respuesta es normal, a la segunda o tercera sesión se normalizará el tratamiento en dosis y tiempos.

Imanterapia

Quizá la imanterapia tenga que ver con el magnetismo más que con la corriente galvánica, pero existe un fenómeno que se presenta de preferencia en la aplicación de imanes continuos sobre el organismo, similar al del galvanismo.

El referido fenómeno magnetoeléctrico recibe el nombre de efecto Hall y consiste en el hecho de que, cuando se aproxima un campo magnético a uno eléctrico *en movimiento*, éste se desvía de su trayectoria y se acerca o se aleja del imán según la polaridad del campo magnético.

El polo *sur* provoca alejamiento de los electrones mientras que el polo *norte* produce acercamiento en su trayectoria de movimiento (Fig. 6-16). *Sur* separa de sí a los electrones

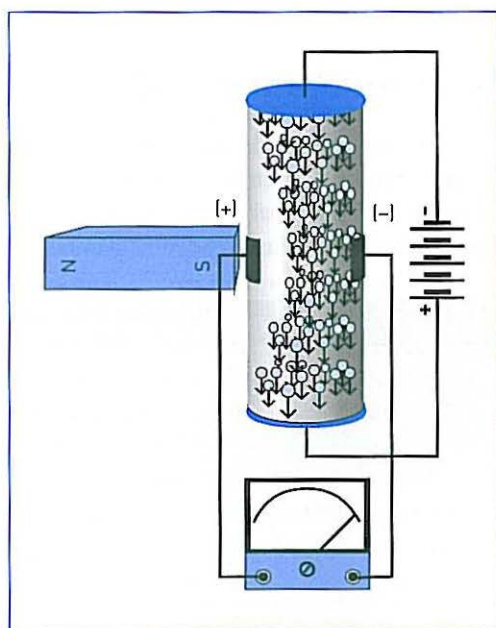


Figura 6-16. Efecto Hall. Se basa en la influencia del campo magnético sobre las cargas eléctricas. Sur genera [+] y norte genera [-].

(genera carga [+]); *norte* convierte en negativa la zona de aplicación (aumenta la carga [-]).

Si se aproxima un imán al organismo, éste cumplirá las funciones de conductor y las cargas eléctricas en movimiento serán los iones de las disoluciones internas, dado que los iones no se mantienen inmóviles sino que están sometidos a un constante movimiento browniano.

Los iones con carga [-] serán desviados de sus trayectorias con tendencia al alejamiento de la zona si el polo magnético es el *sur*, mientras que los de carga [+] tenderán a concentrarse en las proximidades del imán. En el caso de que el polo fuera el *norte*, se invertiría el proceso.

Según lo expuesto, la aplicación de imanes permanentes coincidirá con los mismos efectos que una aplicación de galvanismo con intensidades muy bajas.

El polo norte tiende a acumular en sus proximidades los iones de carga [-], de manera semejante al ánodo. El polo sur tiende a concentrar los de carga [+], de manera semejante al cátodo (Tabla 6-1).

Osteogénesis y osteolisis



Según las técnicas de magnetoterapia se ha descubierto que, si en las proximidades del hueso se consigue crear un entorno de *electronegatividad*, aparece una tendencia al aumento

de osteoblastos o células regeneradoras de hueso, pero si se crea *electropositividad*, tienden a proliferar los osteoclastos o células destructoras de hueso.

Por regla general, al fisioterapeuta le interesará el campo de electronegatividad con fines osteogénicos. Sin embargo, el entorno electronegativo no debe ser excesivo ni muy pequeño, pues el adecuado se considera bueno dentro de los siguientes parámetros: de 5 a 20 μA con diferencia de potencial de 1 a 1,5 V.

Este entorno eléctrico se puede crear de modo perfecto con corriente galvánica, aunque es difícil conocer o calcular si los parámetros recibidos en las proximidades del hueso y en el lugar deseado son los indicados (Fig. 6-17).

El magnetismo, mediante el efecto Hall, también generaría situaciones similares, pero es necesario saber la intensidad del campo magnético, la distancia al foco o lugar de aplicación, la polaridad del imán, si el campo magnético debe ser continuo o pulsátil, etc. (v. cap. 14).

Objetivación de los cambios biológicos



Este apartado es recomendable si se está interesado en investigar con las respuestas metabólicas.

Se está afirmando que si se aplica energía eléctrica o electromagnética al organismo, se provocarán alteraciones bioquímicas en los tejidos y, sobre todo, en el entorno o líquido intersticial. Para demostrarlo, se necesitan pruebas químicas en el laboratorio o alguna otra que, con menos agresividad, informe acerca del comportamiento electrobioquímico.

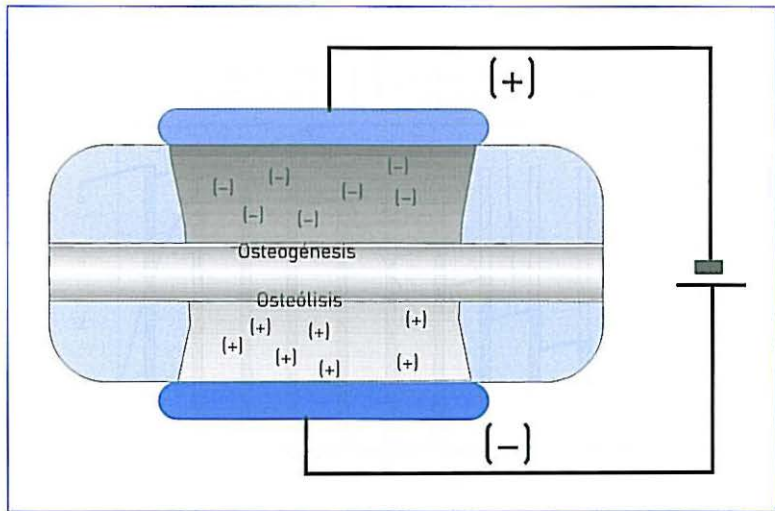
Se ha diseñado un equipo electrónico (denominado DD 4.000 A, para *diagnóstico diferencial cuántico* de Euromedical Clinic S.A.) que trata de medir y mostrar de forma gráfica el comportamiento del entorno intercelular en la superficie corporal, dado que no es agresivo ni invade el interior de los tejidos y se basa en los siguientes fenómenos:

Tabla 6-1. Regla mnemotécnica de recuerdo

Polo magnético	Electrodo de la corriente galvánica	Polo galvánico	Efecto interno
Norte	Ánodo	[+]	Electronegatividad
Sur	Cátodo	[-]	Electropositividad

Norte y sur se clasifican por orden alfabético, ánodo y cátodo también están en orden alfabético; si se asocian los dos órdenes alfabéticos, debe recordarse que el norte se asemeja al ánodo [+] y el sur se comporta como el cátodo [-]. Norte y ánodo generan electronegatividad en el medio, y sur y cátodo generan electropositividad en el medio.

Figura 6-17. Una aplicación contralateral de corriente galvánica puede influir en el tejido óseo y favorecer la osteogénesis o la osteólisis.



- Cuando se aplica una corriente galvánica o galvánica interrumpida al organismo, ésta provocará movimiento y concentraciones de los respectivos iones en las proximidades de los electrodos.
- Dependiendo de las condiciones metabólicas de los tejidos y de los parámetros de la corriente aplicada, se conseguirá mayor o menor respuesta de cambios electroquímicos.
- A lo largo de la sesión, la resistencia y el comportamiento eléctrico de los tejidos van cambiando debido a la mayor o menor concentración de iones que facilitarán o frenarán el paso de energía eléctrica.
- Si la corriente se aplica en forma de impulsos de aumento brusco, aparecerá un impedimento o resistencia del tejido a ser invadido de forma brusca por cada impulso.
- Tan pronto como se haya aplicado un impulso, parte de la energía inyectada se devolverá en un porcentaje determinado por efecto de la capacitancia.
- Dependiendo de la potencia aplicada en cada impulso (debe recordarse que potencia es igual a voltaje por intensidad) y de su cadencia entre impulsos (frecuencia), el organismo opondrá mayor o menor impedancia o devolverá más o menos energía.

Si se parte de estas premisas, el referido equipo aplica una corriente *en tensión constante (VC)*, formada por impulsos cuadrangulares (regulables) de muy corta duración, 0,1 m de media, en una frecuencia (regulable) de unos 3.000 Hz de media y un voltaje (también regulable) de unos 10 V. Asimismo, es necesario señalar en los parámetros un límite máximo de energía aplicada, expresada en mW, de forma que, cuando un impulso alcanza los mW indicados como límite, corta su funcionamiento.

Además de inyectar los pulsos de energía, la electrónica computarizada del aparato se encarga de medir en tiempo real y, de forma rápida, los parámetros de voltaje aplicado, la intensidad que pasa, la potencia absorbida, la resistencia capacitativa del tejido, el porcentaje de energía devuelta (reactancia), etc., y procesa los datos para reflejarlos en trazados sobre gráficas diseñadas al efecto, para tratar de indicar los distintos comportamientos según el estado electroquímico del tejido explorado.

Puesto que la técnica se realiza en tensión constante, frente a tejidos normales, el equipo aplica los voltios prefijados, pero si la resistencia es elevada, sólo se absorberá una pequeña parte de la energía. Esta fracción de energía,

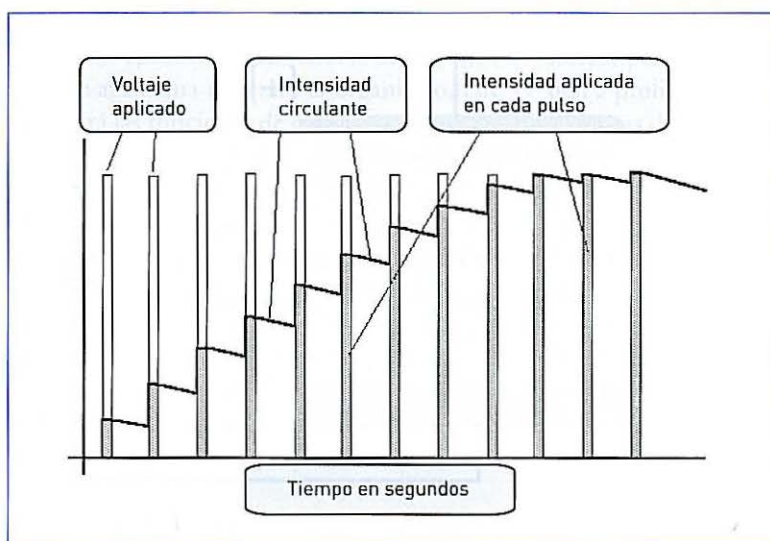


Figura 6-18. Pulsos en voltaje constante (VC) de 10 V, unos 3.000 Hz. La intensidad circulante cambia según avanza el tiempo. La potencia aplicada va aumentando hasta un punto máximo.

6

por su componente polar, provocará alteraciones y concentraciones iónicas. El siguiente impulso contribuirá a acentuar la alteración iónica y los sucesivos irán produciendo un efecto sumativo que disminuirán la resistencia y descargarán mayor energía en W (Fig. 6-18). Sin embargo, esto ocurrirá siempre que el medio intercelular disponga de suficientes electrólitos o permita el adecuado desplazamiento de éstos por el medio. En caso de comportamientos deficitarios, se reflejará de forma gráfica que se necesita mucha energía para superar la oposición del medio y también más tiempo para conseguirlo.

Debe recordarse la fórmula que indica la potencia eficaz, según la cual se conocerá la energía absorbida en realidad:

$$W_{\text{(eficaz)}} = W_{\text{(de pulso)}} \cdot t_{\text{(de pulso en s)}} \cdot F_{\text{(en Hz)}}$$

El organismo es un conductor de segundo orden, lo que implica que la conducción de energía se realiza a través de los iones que contienen los tejidos que serán conducidos. Si los iones están libres y son abundantes, en poco tiempo se alcanzará el máximo de conducción. Los tejidos normales presentan trazados característicos, que in-

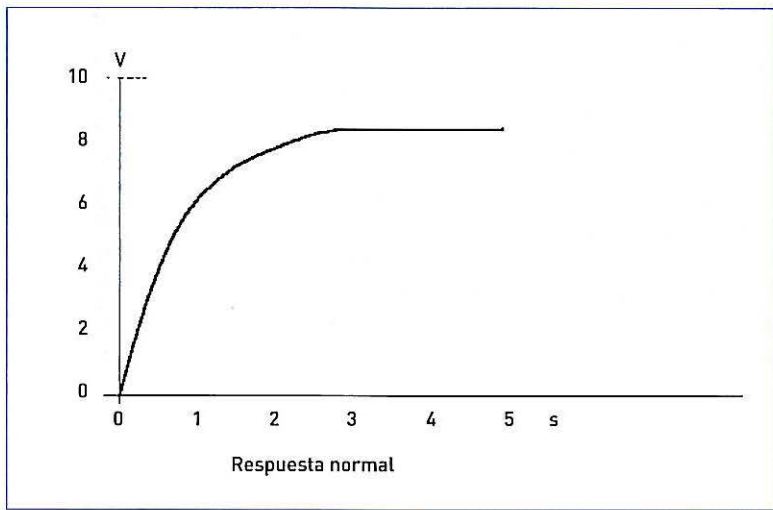
dican que se absorben 100 mW/s en un tiempo de 2 a 5 s (Fig. 6-19).

Sin embargo, en caso de tejidos edematosos y fibrosados, los iones están aglutinados, son escasos y poco móviles por el medio. Por ello es probable que transcurran de 10 a 15 s sin que se absorba energía alguna para comenzar a mostrar, a partir de este punto, un trazado de absorción muy lento (Fig. 6-20).

Los fabricantes lo comercializan como equipo para el diagnóstico tisular y como tratamiento, pues, una vez que se ha detectado un tejido alterado, se le aplicará una corriente con mayores parámetros energéticos que en la exploración para conseguir los cambios deseados que conducirán a crear un mejor entorno iónico intercelular, el cual aumentará la polarización de la membrana y todas sus consecuencias fisiológicas. La sensación o percepción sobre el paciente es muy tenue con los parámetros eléctricos aplicados.

En resumen, el equipo diseñado al respecto refleja dos parámetros: energía que absorbe y energía que devuelve. Ello no es otra cosa que medir la impedancia de los tejidos y evaluarla cuando se aplican energías. Por ser el organismo un conductor de segundo orden, los

Figura 6-19. En el caso de normalidad, en el transcurso de unos 5 s se alcanza la plena absorción y conductividad de la energía aplicada.



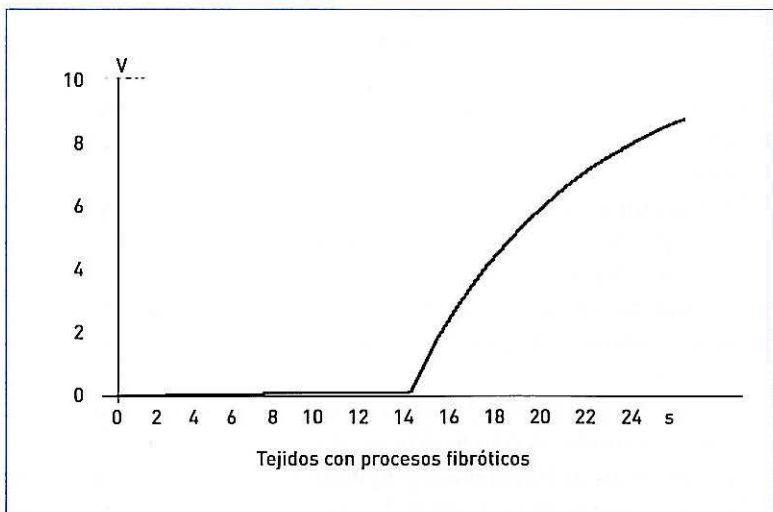
cambios químicos provocan variaciones en el comportamiento resistivo y la rapidez de respuesta es la función más importante que debe valorarse.

Es curioso observar cómo cambian las respuestas de tejidos sanos a tejidos afectados por edemas, inflamación, tumefactos, desnutridos, poco hidratados, etcétera.

Los diseñadores aportan el dato referido al nivel de polarización de la membrana en la zona, expresado en mV, o tratan de conseguir determi-

nado nivel de polarización de membrana con el tratamiento. Por ello se basan en cálculos matemáticos derivados del comportamiento eléctrico tisular. No cabe duda de que los cambios electroquímicos del entorno intercelular influyen de manera directa en el nivel de polarización, pero el estado intracelular o la forma de trabajar de la membrana también influye en el proceso. Con todo, siempre se podrá afirmar que el medio intersticial es distinto de acuerdo con la impedancia medida en los tejidos.

Figura 6-20. En tejidos edematosos y fibrosados, la conductividad es muy baja y, por consiguiente, costará un tiempo provocar el inicio de absorción energética.



Hasta este punto se ha afirmado y se ha teorizado sobre los cambios electroquímicos que se generan con estas corrientes. Se han aportado conocimientos, datos, respuestas fisiológicas, comentarios del paciente, resultados comprobados y pruebas molestas o cruentas para el paciente, pero no podía saberse en qué proporción se conseguía cambiar el ambiente biológico de los tejidos, si la influencia era excesiva o insuficiente, si la dosis era poca o excesiva, si la polaridad era adecuada o equivocada, etcétera.

Por ejemplo, ¿tendrá algún efecto biológico acercar (sin tocar la piel) un imán a una zona afectada por patología?; ¿cuál será el polo adecuado?; ¿el efecto será positivo o no deseado?; ¿cuánto tiempo de aplicación debe emplearse?; ¿se mantienen los efectos tras los tratamientos o se pierden enseguida?; o ¿producen cambios biológicos las microcorrientes? Podrán compararse estas preguntas si se practica una exploración y otra después de la imanoterapia con el equipo del que se trata y podrá llegarse a conclusiones tal vez muy interesantes. Sin embargo, queda mucho por depurar en esta técnica dadas sus grandes posibilidades de aplicación.

La forma de aplicar, tanto para la exploración como para el tratamiento, es muy simple:

- Se informa al paciente que puede llegar a sentir un ligero hormigueo eléctrico.
- El paciente toma en una mano un electrodo metálico de forma cilíndrica a modo de masa.
- Se aplica un electrodo manual y exacto con una superficie de contacto eléctrico algo mayor que la punta de un bolígrafo sobre la zona que debe explorarse o tratarse.
- En los mandos se regulan los parámetros deseados.
- Se inicia la aplicación y, por regla general, en unos segundos el equipo detiene su trabajo por alcanzar los parámetros indicados. En los casos que no se alcancen las condi-

ciones señaladas, el aparato continuará intentándolo, pero, como se observan los resultados sobre la marcha (trazados en la pantalla), se podrán apreciar errores en la polaridad o la imposibilidad de conseguirlo por el comportamiento de los tejidos.

- La polaridad elegida es importante, pues se debe aplicar el $[+]$ para problemas agudos («itis») y el $[-]$ para problemas crónicos («osis»).
- Si en la forma diagnosis o exploración se observan alteraciones, se pasa a tratamiento para corregir las deficiencias detectadas.

Curvas características del comportamiento biológico



La empresa fabricante aporta información orientativa sobre algunos de los comportamientos más característicos de los tejidos, reflejados en otros tantos trazados.

En estados de normalidad, en el transcurso de 2 a 5 s, se alcanza una buena conducción y rápida respuesta iónica junto con bajos niveles de rechazo energético, que se mantendrán así de forma indefinida (Fig. 6-19).

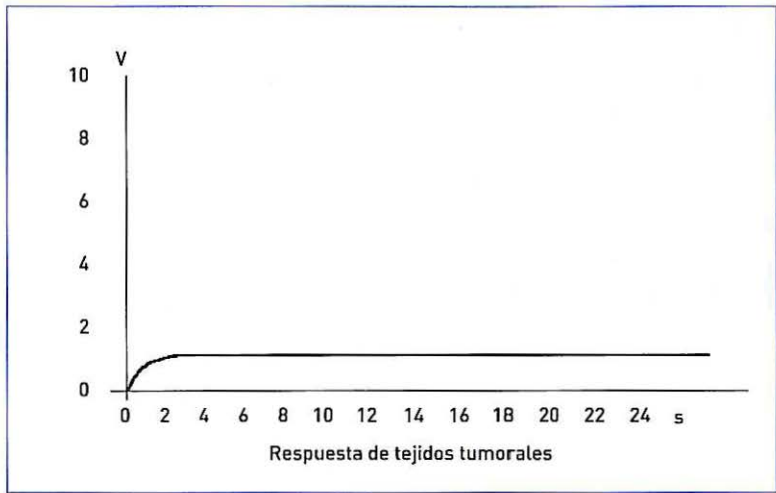
Frente a los tejidos tumorales, parece que se obtiene una trayectoria en la cual se aprecia que los tejidos sólo admiten, de forma indefinida, una pequeña cantidad de energía (Fig. 6-21).

Los autores interpretan las oscilaciones en la regularidad u homogeneidad de la curva, como respuestas alérgicas en la zona (Fig. 6-22).

Frente a una situación de inflamación grave y aguda, la zona conduce con rapidez y mucha facilidad debido a su alto nivel metabólico, pero transcurridos unos segundos se pierde capacidad de conducción y de absorción de energía por causa de la descompensación iónica. Para regularizar este comportamiento, se aplicaría como terapia el polo positivo con idea de «reducir el exceso de energía», según los diseñadores del equipo (Fig. 6-23).

Cuando los tejidos se hallan bajo la influencia de enfermedades por déficit circulatorio,

Figura 6-21. Curva característica de procesos cancerígenos.



inflamación fría, comienzos de reacción fibrótica, etc., la respuesta se hace esperar, pero al cabo de unos segundos la curva puede tender a la normalidad, siempre que la alteración no sea importante. Tal vez, éste sea el trazado más habitual en los procesos reumáticos y fatiga de tejidos (Fig. 6-20).

Esta breve introducción puede servir para crear inquietud y deseos de investigar, pues se inicia un camino que, al menos, indica si la técnica aplicada ha conseguido cambios en la electroquímica de los tejidos, así como en cuanto a cantidad y calidad. Con esta técnica quizá se

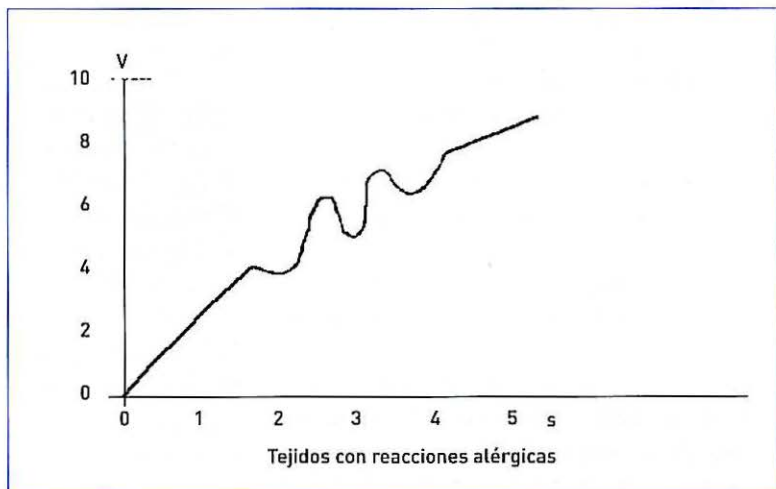
puedan dar respuestas a muchas de las preguntas planteadas.

Bioimpedancia

La bioimpedanciometría se ha extendido en los últimos años como herramienta que aporta información de la composición corporal en cuanto a las masas y los porcentajes de diferentes tejidos. Es muy habitual su empleo en la medicina estética y dietética.

Estos equipos han sufrido variaciones y perfeccionamientos de la técnica. Hay varios tipos

Figura 6-22. Los autores atribuyen las irregularidades en la curva a respuestas alérgicas.



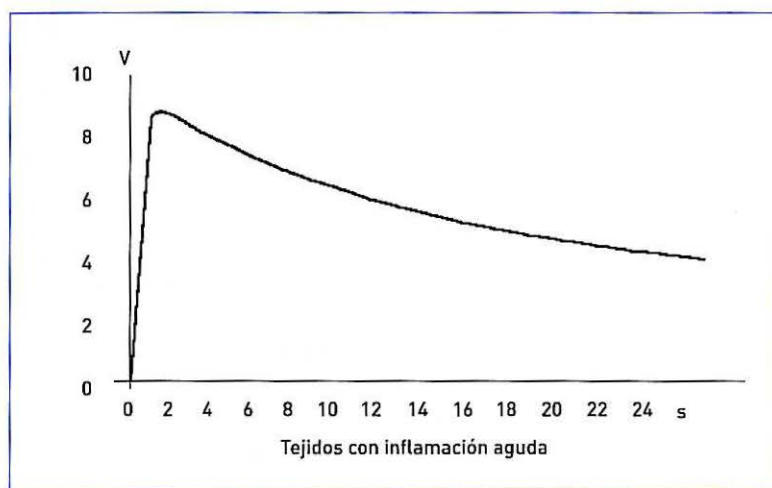


Figura 6-23. La gran actividad electroquímica del proceso agudo indica mucha y rápida conducción eléctrica que tiende a ser rechazada.

6

de bioimpedanciómetros, y se pueden encontrar de forma básica con un solo circuito y una sola frecuencia, un solo circuito y varias frecuencias, y más de un circuito y varias frecuencias.

El equipo de la **figura 6-24** es de dos circuitos y multifrecuencia, por lo que aporta información amplia y variada (se describe más adelante) de toda la masa corporal. La fiabilidad de sus resultados y aportaciones depende mucho de que la técnica sea depurada en su realización.

Los tejidos que contengan importantes cantidades de fluidos biológicos conducen muy bien las frecuencias bajas. Los tejidos con poca proporción de agua no conducen bien las frecuencias bajas. Sin embargo, las frecuencias más altas rompen barreras dieléctricas, como las membranas celulares, el hueso y las grasas.

Las frecuencias bajas miden componentes corporales, como proporciones o contenido de agua e, incluso, masas musculares. Las frecuencias más altas miden proporciones de grasas, tejidos deshidratados, masa ósea, grosor de la piel, etc. Las frecuencias bajas miden mejor el componente resistivo de la impedancia mientras que, al aumentar las frecuencias, se pone de manifiesto el componente de reactancia o capacitativo (v. «Impedancia», en el cap. 1). El

equipo que se muestra en las figuras en concreto aplica cinco frecuencias diferentes para realizar sus medidas.

Parámetros medibles en bioimpedanciometría

A continuación se describen los parámetros medibles en bioimpedanciometría.

Agua corporal total (TBW, total body water): contenido de agua en todo el cuerpo.

Agua extracelular (ECW, extracellular body water): contenido de agua extracelular.

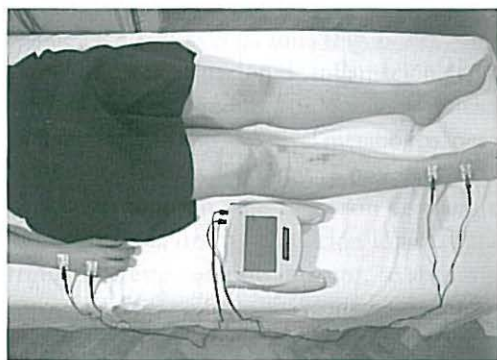


Figura 6-24. El Bodycell® es un bioimpedanciómetro de multifrecuencia y de dos circuitos. El fabricante aporta la descripción de su aplicación.

Agua intracelular (ICW, *intracellular body water*): contenido de agua intracelular.

Índice de masa corporal (BMI, *body mass index*): es el resultado de dividir el peso del paciente entre su altura al cuadrado. Indica el grado de obesidad.

Masa celular (BCM, *body cellular mass*): contenido de masa celular corporal.

Masa de tejidos extracelulares (ECM, *external cellular mass*): todos los tejidos que se encuentran fuera de las células.

Masa grasa (FM, *fat mass*): contenido de masa grasa corporal.

Masa libre de grasa (FFM, *fat free mass*): cantidad de tejidos que no son grasa.

Metabolismo basal (MB): energía necesaria para mantener la actividad celular en reposo.

Necesidades energéticas diarias (NED): energía que requiere el paciente para realizar sus actividades de la vida cotidiana.

El Bodycell® trabaja de forma que previamente se le introducen los datos del paciente

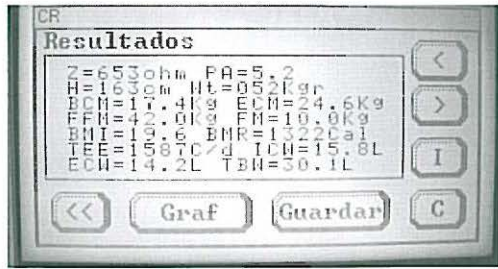


Figura 6-25. Resultados (en una de las diferentes pantallas) de la medida de bioimpedancia con el Bodycell®.

en cuanto a su edad, altura, peso, sexo, etc. Se realiza la prueba y se presentan los resultados en valores (Fig. 6-25) y en gráficas.

Las medidas de impedancia en los tejidos presentan multitud de aplicaciones prácticas y es un concepto que debe entenderse bien en electroterapia (v. «Impedancia» y «Medida de impedancia en un osciloscopio», en el cap. 1).



Autoevaluación

Material complementario en el sitio web

- Autoevaluación
- Vídeos:
 - 6-1. Microgalvánica
 - 6-2. Galvanopalpación
 - 6-3. Galvanopalpación en VC y en CC
 - 6-4. Electroanalgesia manual



7

Iontoforesis

Contenido

- Concepto de iontoforesis o electroforesis y su técnica
- Ventajas, inconvenientes, dudas, dosificación, indicaciones, precauciones y contraindicaciones
- Vademécum iontoforético a modo de resumen

Objetivos de aprendizaje

- El alumno debe comprender bien los conceptos sobre los aniones y los cationes, en qué electrodo se vierten y cómo debe dosificarse con la máxima precisión.
- Se deben comprender y conocer bien las limitaciones de esta técnica y los cuidados más importantes para evitar riesgos al paciente.
- Dominar la fórmula de Faraday para dosificar medicamentos de forma correcta.
- Asimilar el modo de aplicación de las disoluciones medicamentosas para evitar su alteración con otras sustancias.

Síntesis conceptual

- ✓ El capítulo 7 es la continuación de los capítulos 5 y 6, y en él se describen las técnicas de iontoforesis basadas en la corriente galvánica.
- ✓ Su contenido es teórico y práctico. Además, se proponen metodologías de trabajo para investigar y experimentar. Una buena base de química y de bioquímica ayudará mucho en la comprensión de este capítulo.
- ✓ Se profundiza en comportamientos eléctricos del circuito, entre los electrodos y el paciente, con pruebas experimentales.
- ✓ A lo largo del capítulo se insiste en la precisión para dosificar y en cuidados para evitar lesiones galvánicas a los pacientes.

IONTOFORESIS

Para la comprensión de este capítulo se recomienda, en primer lugar, la lectura del capítulo 5 de esta obra.

La iontoforesis es una de las aplicaciones características de la corriente galvánica y se basa en el efecto de *electroforesis*, que consiste en el rechazo de iones de la misma polaridad que el electrodo.

Si se deposita en la esponjilla (mejor un paquete de gasas estériles), que se interpone entre la parte de goma conductora del electrodo y la piel, una sustancia de tipo medicamentoso, ésta se repelerá o se mantendrá en la gamuza en función de la polaridad del electrodo y de la polaridad iónica del radical activo del medicamento en cuestión:

- *Cátodo [-] e ion [-]: el ion se introduce en el organismo.*
- *Ánodo [+] e ion [+]: el ion se introduce en el organismo.*
- *Cátodo [-] e ion [+]: el ion se mantiene en la gamuza y es posible que reaccione de forma electrolítica con el electrodo hasta perder su composición y sus propiedades iniciales.*
- *Ánodo [+] e ion [-]: el ion se mantiene en la gamuza y es posible que reaccione de forma electrolítica con el electrodo hasta perder su composición y sus propiedades iniciales.*

La *iontoforesis* en su momento tuvo mucho auge y se prepararon fármacos para tal fin, en los que se indicaba la polaridad y se informaba de sus cualidades para este tipo de aplicación. Hace algún tiempo se dejó de lado esta técnica debido a su poco dominio por parte de los fisioterapeutas. Últimamente prolifera su uso atendiendo más a modas que van sucediéndose, como en tantas otras cosas, pero sin dejar de ser una posibilidad con ventajas e inconvenientes, de la cual Leduc demostró su efectividad con el experimento que se describe en el siguiente apartado.

Experimento de Leduc

Leduc tomó dos conejos unidos entre sí por electrodos empapados en agua potable o corriente para cerrar el circuito, que se formaría al aplicar a un conejo el ánodo y al otro el cátodo (Fig. 7-1). El ánodo [+] estaba empapado en una solución que contenía cianuro [-]; el cátodo [-] estaba empapado con otra solución que contenía estricnina [+]. Al hacer pasar la corriente, dejó pasar un tiempo y a los conejos no les ocurrió nada. Los iones buscaban la polaridad contraria y se quedaron en la gamuza del electrodo.

Después de esto repitió el experimento de manera que sólo cambió la polaridad de los electrodos. De esta forma, el ánodo [+] estaba

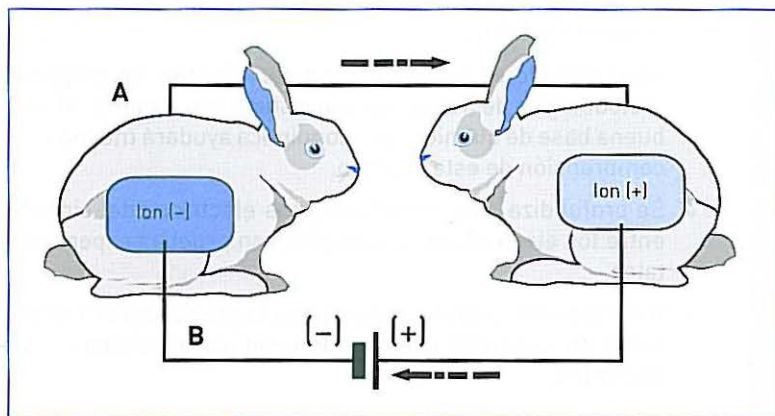


Figura 7-1. Esquema de los conejos y el circuito eléctrico según el experimento de Leduc.

empapado en una solución que contenía estricnina [+]; el cátodo [-] estaba empapado con otra solución que contenía cianuro [-]. Poco tiempo después, el conejo al cual le había aplicado el ánodo con estricnina murió con los síntomas característicos del envenenamiento por estricnina. Asimismo, el otro murió con los síntomas característicos del envenenamiento por cianuro, lo que significaba que la estricnina [+] había sido rechazada hacia el interior del conejo y el cianuro [-] también había sido introducido por el cátodo. Dado que el electrodo tenía la misma polaridad que el ion, éste fue rechazado lejos del electrodo (hacia el interior del animal).

Experimento de Labatut

En una cubeta introdujo un pedazo de músculo procedente de un animal, de manera que la masa de carne quedara dividiendo la cubeta en dos partes distintas y que el ajuste de la carne con la cubeta impidiera la mezcla de los líquidos, y así creara dos disoluciones diferenciadas, por lo que la carne actuaría de barrera o membrana (Fig. 7-2).

En ambos lados de la cubeta, introdujo una disolución de cloruro de litio al 5% y colocó dos electrodos para aplicar galvanismo durante un tiempo. Transcurrido ese tiempo, procedió

a cortar la carne en lonchas paralelas a las disoluciones con la observación siguiente: las capas que se encontraban en contacto con la disolución en que había colocado el polo positivo presentaban una elevada proporción de litio que disminuía de manera progresiva según se acercaba al centro.

Las capas o lonchas del lado que estaba en contacto con la disolución del polo negativo no contenían nada de litio, ni tan siquiera podría pensarse que hubiera sido introducido por ósmosis.

En la bibliografía sobre el tema se hace referencia a otros experimentos e, incluso, a distintas versiones de éste, pero en todas se demuestra perfectamente la traslación de sustancias a través de la piel u otras membranas.

En la figura 7-2 se aprecia un montaje de dos recipientes de metacrilato con perforaciones laterales, que permiten unirlos de forma estanca e interponer una membrana entre las perforaciones para probar e investigar el comportamiento de las sustancias sometidas a experimentación.

En este punto se plantea la duda de cómo se introducen los iones a través de la capa córnea de la piel, bastante *impermeable*, que no puede compararse de manera exacta con una membrana celular.

La corriente galvánica puede pasar a través de iones o electrones de la materia que compo-

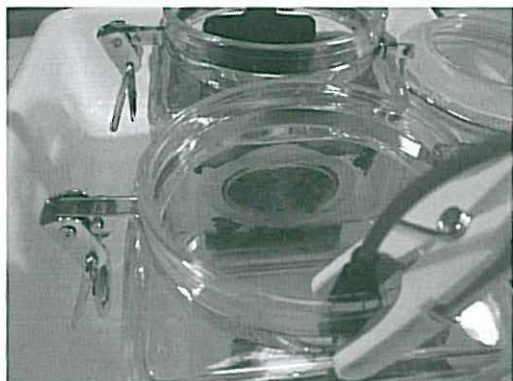
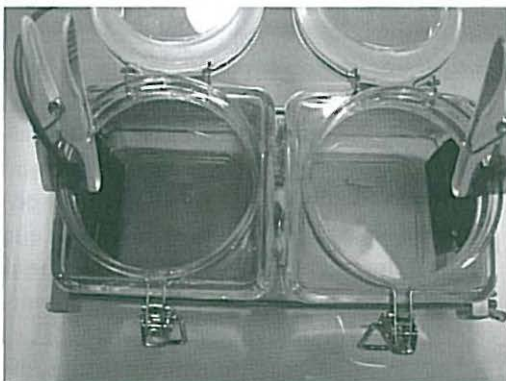


Figura 7-2. Dos recipientes de metacrilato perforados (y unidos por sus perforaciones) a través de una membrana selectivamente permeable para repetir experimentos semejantes a los de Labatut.

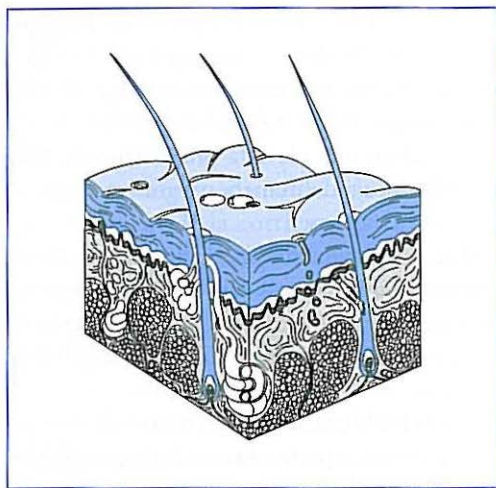


Figura 7-3. Corte de piel en el que se aprecian sus componentes y órganos fundamentales. Los conductos sudoríparos y pilosos serían los transmisores de iones hacia capas irrigadas de la piel.

7

nen los tejidos de la piel, pero ¿por dónde pasan los iones?

Se considera buena la teoría según la cual éstos penetran a través de los conductos sudoríparos y los folículos pilosos, utilizando como vehículo las disoluciones que contienen en su interior, hasta llegar al líquido intersticial (Fig. 7-3).

Al tratar de demostrar la permeabilidad de la piel, se diseña un sistema que separa dos disoluciones mediante colgajo de piel humana o de otros animales (con frecuencia se emplea la de cerdo por su semejanza en el comportamiento con la humana; Fig. 7-4).

Con sistemas semejantes, Rivière diseñó metodologías de experimentación para tratar de averiguar las cantidades de iones que pueden pasar con corriente galvánica de un medio a otro sin llegar todavía a conclusiones definitivas, pues es muy distinta la composición de una disolución preparada *in vitro* que otra *in vivo*. Además, debe tenerse en cuenta la multitud de factores que intervienen en las aplicaciones corporales, como:

- Distintas resistencias de los tejidos que influyen en los parámetros eléctricos.

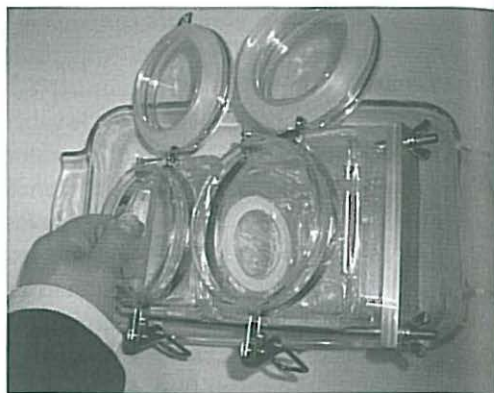


Figura 7-4. Dos recipientes de metacrilato (perforados por un lado) y unidos a presión a través de las perforaciones, entre las cuales se interpone la membrana en experimentación.

- Multitud de iones que responden de distinta forma a un mismo nivel de energía aplicada.
- La forésis de los iones se debe al voltaje o diferencia de potencial y cada ion posee distintos valores de ruptura.
- La intensidad medida transporta diversidad de iones, no sólo el medicamentoso, y no puede calcularse la cantidad introducida.

En definitiva, dada la complejidad de las reacciones químicas, los múltiples enlaces iónicos y la cantidad de sustancias que existen en el organismo complican de forma extraordinaria esta técnica.

En principio, si el radical del medicamento es una *monomolécula* penetrará y se irá asociando con otras moléculas de distinto signo (siempre que la intensidad de la corriente galvánica se lo permita). Sin embargo, si el radical del medicamento es una *polimolécula*, la corriente disociará su estructura y logrará que penetren los radicales del mismo signo que el electrodo, tras quedarse en la gamuza los radicales de signo opuesto al electrodo.

En este segundo caso se habrá «roto el medicamento» y, dependiendo de las características propias del fármaco, se habrá destruido o intro-

ducido en parte, pues los compuestos químicos tienen enlaces muy estables y firmes en unos puntos mientras que en otros son débiles y fáciles de disociar de las fuerzas eléctricas aplicadas.

Es necesario aclarar que el parámetro eléctrico que en realidad rompe o pone en movimiento las moléculas es la fuerza electromotriz o *voltaje*, en lugar de la intensidad. Esto significa que se puede presentar la circunstancia en que se esté aplicando una cantidad importante de intensidad y poco voltaje sin llegar a conseguir el efecto buscado.

La intensidad indica que existe paso de iones e, incluso, permite calcular el número, pero los distintos niveles en diferencia de potencial (*voltaje*) conseguirán actuar en unas sustancias o en otras.

Polaridad de los medicamentos

Cualquier fisioterapeuta desea saber, en determinado momento, bajo cuál de los dos electrodos debería aplicar la disolución que contiene el medicamento (deben evitarse geles o pomadas), pero no se dispone de la información que indica la polaridad. *En este caso debe reiterarse, de nuevo, que la polaridad del medicamento o radical que se pretende introducir se situará bajo el electrodo del mismo signo eléctrico.*

Existen listas de medicamentos recogidas por varios autores y en esta obra se recopila una lo más amplia posible. Llama la atención el hecho de hallar bastantes contradicciones sobre la polaridad, ya que el mismo compuesto se representa con distintas polaridades en diversas obras.

Posiblemente, no se trate de errores sino que sean observaciones o interpretaciones distintas según la combinación entre moléculas que forman un compuesto quimioterápico determinado. Quizá dependa de qué radical se considera activo para la función que se espera de él o, tal vez, un autor considere que el medicamento en concreto trabaja en un medio alcalino mientras que otro considere que éste trabaja en un medio ácido.



Vídeo 7-1. Medida del pH

Práctica experimental

Esta práctica está indicada para hallar la polaridad del compuesto:

1. En una cubeta alargada se deposita agua del grifo.
2. Se introducen dos electrodos en los extremos (que no deben descolocarse) conectados al equipo de galvanización y en los que se detalle sin error su polaridad.
3. Todavía sin aplicar corriente se toman dos muestras de agua junto a cada electrodo y se miden sus respectivos pH. Se anotan los valores sobre la línea central en la primera columna de la gráfica (Fig. 7-5), que será el mismo valor.
4. Se eleva la intensidad entre 5 y 10 mA y se deja pasar 1 minuto.
5. Se toman sendas muestras de agua junto a los electrodos (y se mantiene la intensidad elevada) para medir de nuevo el pH correspondiente y se anotan en la segunda toma o segunda columna (Fig. 7-5). Se observa cómo en el [-] aumenta el valor y en el [+] éste disminuye, a la vez que se alejan entre sí.
6. Se vierte la sustancia de la que se pretende averiguar su comportamiento y se deja pasar 1 minuto.
7. Por tercera vez (sin haber interrumpido la corriente) se vuelven a tomar sendas muestras de la disolución junto a cada electrodo para medir de nuevo sus correspondientes pH.
8. Se anotan los valores en la gráfica (tercera columna) y se observará que ambos valores tienden a ascender (alcalinos) o a descender (ácidos).
9. Se disminuye la intensidad y puede desmontarse el sistema.
10. Tras observar la gráfica, se extraerán conclusiones sobre la tendencia de la disolución antes de aplicar corriente, antes de verter el compuesto (sólo agua) y después de verter el compuesto. Así, si los valores se alcalinizan, puede afirmarse que el radical del compuesto analizado se desplaza hacia el [-], pero si se acidifica, se concluirá que éste se desplaza hacia el [+].

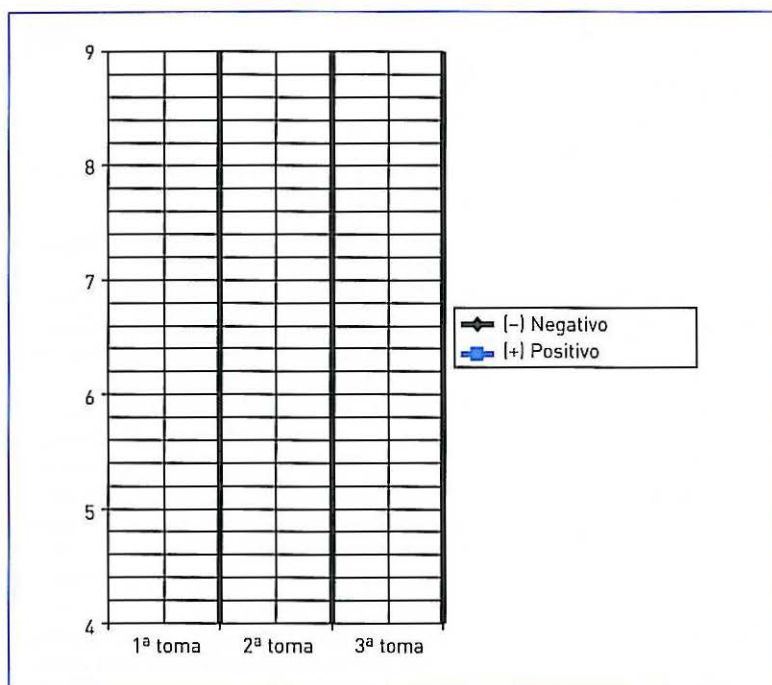


Figura 7-5. Gráfica para control del pH.

Es posible que en medicamentos en que se presenten varios componentes de forma simultánea se invierta su signo o, incluso, haya que aplicarlo en dos intentos, uno con el ánodo y el otro con el cátodo.

Ante la duda del comportamiento eléctrico de los medicamentos, puede realizarse la prueba que se presenta a continuación.

En esta práctica está implícita una circunstancia que más adelante se insistirá en evitar. Se trata de no mezclar otros solutos diferentes a los del compuesto medicamentoso, presentes en los solutos del agua del grifo. Para ello, en lugar de utilizar agua del grifo, debería usarse agua destilada, pero el agua destilada no conduce a la corriente galvánica y con la prueba no se obtendría el mismo resultado; habría que practicar con dos tomas de pH y obtener sólo una gráfica diferente a la explicada en este caso.

No obstante, dado que el interior orgánico es una disolución muy compleja, en cierto modo puede asemejarse al agua del grifo con su multitud de sales en disolución.

Si, por ejemplo, se vierte lidocaína para averiguar su comportamiento, se obtendrán los resultados que se exponen en la figura 7-6.

La prueba descrita en la práctica con lidocaína demuestra que ésta es rechazada por el $[-]$ y se desplaza hacia el $[+]$. En conclusión, se aplicará bajo el electrodo $[-]$ y se le atribuirá la cualidad de anión con signo $[-]$.

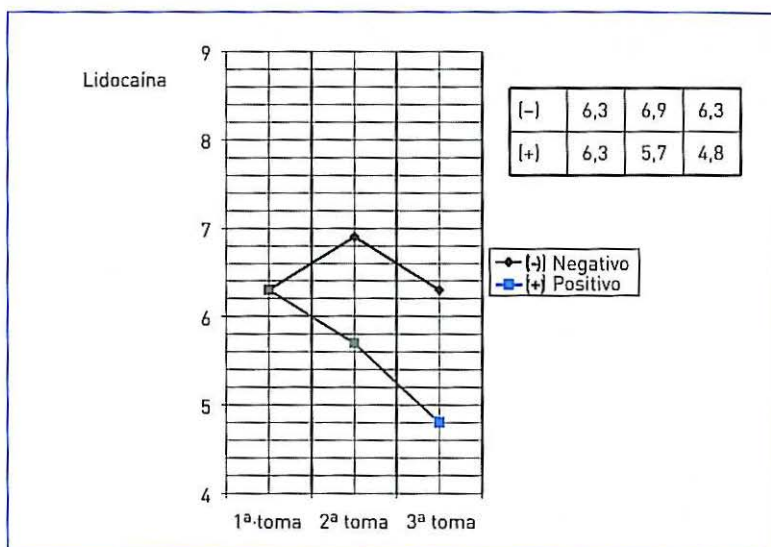
Es importante que se realice esta prueba con los compuestos iónicos que habitualmente se usan en los tratamientos para tener la seguridad de su polaridad y comportamiento.

Esta técnica todavía presenta muchas incógnitas por resolver y es necesario investigarla a fondo y escuchar todo aquello que puedan aportar los bioquímicos.

Ley de Faraday y equivalente electroquímico

Para introducir una sustancia química se acudirá a la ley de Faraday en la electroforesis.

Figura 7-6. Comportamiento y desplazamiento de la lidocaína hacia el [+]. Por ello se aplicará bajo el electrodo [-]. Polaridad [-].



Según la ley de Faraday, la masa en gramos (g) de una sustancia depositada en una electrólisis es directamente proporcional al producto de la intensidad de la corriente en amperios (A), por el tiempo de la electrólisis y por el equivalente electroquímico de la sustancia:

$$M_g = E \cdot I \cdot t$$

Podrá leerse la intensidad en el estimulador, el tiempo se controlará con un cronómetro en segundos, pero el equivalente electroquímico estará determinado por tablas electroquímicas o por cálculos si se conocen otros parámetros de la sustancia utilizada.

Para hallar el *equivalente electroquímico*, se necesitará conocer el peso molecular (masa molar), la valencia del ion y la constante de Faraday:

$$E_e = \frac{P_m}{v \cdot F}$$

Siendo: P_m = la masa molar, peso molecular o gramos por mol de la sustancia; v = la valencia del ion, y F = la constante de Faraday (96.500 culombios).

La **tabla 7-1** representa el peso molecular, la valencia y el equivalente electroquímico de los iones más importantes en las reacciones orgánicas.

Así pues, puede repetirse la fórmula inicial con las siguientes variantes:

$$M_g = \frac{P_m}{v \cdot F} I \cdot t$$

Supóngase un ejemplo en el que se dispone de una preparación para aplicar en condiciones óptimas, en el cual no influirían factores extraños ni otras sustancias químicas distintas de la elegida.

Con estas premisas, se desea introducir el ion sodio de una disolución de cloruro sódico ($\text{Cl}^- + \text{Na}^+$) dentro del organismo: ¿cuántos gramos se introducirán en 5 minutos con una intensidad de 4 mA?

Siendo la masa molar = 22,99; la valencia = +1; la constante de Faraday = 96.500; el equivalente electroquímico = 0,0002383; la intensidad = 0,004 A, y el tiempo (5 · 60) = 300 s:

$$M_g = \left(\frac{22,99}{1 \cdot 96500} \right) \cdot 0,004 \cdot 300 = 0,00027 \text{ g } [270 \mu\text{g}]$$

Tabla 7-1. Iones más importantes en las reacciones orgánicas

Elemento	Símbolo	Peso molecular	Valencia	Equivalente electroquímico
Aluminio	Al	27,00	2	0,0001399
Arsénico	As	74,90	3	0,0002587
Arsénico	As	74,90	5	0,0001552
Azufre	S	32,10	2	0,0001663
Azufre	S	32,10	4	0,0000832
Azufre	S	32,10	6	0,0000554
Bario	Ba	137,30	2	0,0007114
Bismuto	Bi	209,00	3	0,0007219
Bismuto	Bi	209,00	5	0,0004332
Boro	B	10,80	3	0,0000373
Bromo	Br	79,90	1	0,0008280
Bromo	Br	79,90	5	0,0001656
Cadmio	Cd	112,40	2	0,0005824
Calcio	Ca	40,10	2	0,0002078
Carbono	C	12,01	2	0,0000622
Carbono	C	12,01	4	0,0000311
Cinc	Zn	65,40	2	0,0003389
Cloro	Cl	35,50	1	0,0003679
Cobre	Cu	63,50	1	0,0006580
Cobre	Cu	63,50	2	0,0003290
Flúor	F	19,00	1	0,0001969
Fósforo	P	31,00	3	0,0001071
Fósforo	P	31,00	5	0,0000642
Hidrógeno	H	1,01	1	0,0000104
Hierro	Fe	55,80	2	0,0002891
Hierro	Fe	55,80	3	0,0001927
Litio	Li	6,94	1	0,0000719
Magnesio	Mg	24,30	2	0,0001259
Manganeso	Mn	54,90	2	0,0002378
Manganeso	Mn	54,90	3	0,0001585
Manganeso	Mn	54,90	4	0,0001189

Tabla 7-1. Iones más importantes en las reacciones orgánicas (Cont.)

Elemento	Símbolo	Peso molecular	Valencia	Equivalente electroquímico
Manganeso	Mn	54,90	7	0,0000679
Mercurio	Hg	200,60	1	0,0020788
Mercurio	Hg	200,60	2	0,0010394
Molibdeno	Mo	95,90	6	0,0001656
Níquel	Ni	58,70	2	0,0003041
Níquel	Ni	58,70	3	0,0002028
Nitrógeno	N	14,01	1	0,0001452
Nitrógeno	N	14,01	2	0,0000726
Nitrógeno	N	14,01	3	0,0000484
Nitrógeno	N	14,01	4	0,0000363
Nitrógeno	N	14,01	5	0,0000290
Oro	Au	197,00	1	0,0020415
Oro	Au	197,00	3	0,0006805
Oxígeno	O	16,00	2	0,0000829
Plata	Ag	107,90	1	0,0011181
Platino	Pt	195,10	2	0,0010109
Platino	Pt	195,10	4	0,0005054
Plomo	Pb	207,20	2	0,0010736
Plomo	Pb	207,20	4	0,0005368
Potasio	K	39,10	1	0,0004052
Silicio	Si	28,10	2	0,0001456
Silicio	Si	28,10	4	0,0000728
Sodio	Na	23,00	1	0,0002383
Yodo	I	126,90	1	0,0013150
Yodo	I	126,90	5	0,0002630
Yodo	I	126,90	7	0,0001879

La fracción contenida entre paréntesis es igual al *equivalente electroquímico*, que en este caso tiene el valor antes indicado de 0,0002383.

¿La diferencia de potencial ha sido excesiva, suficiente o inadecuada para movilizar a los iones pretendidos? Supóngase que la única di-

solución era de cloruro sódico y se representó la lectura en el miliamperímetro; lógicamente, el voltaje fue suficiente.

A continuación se presenta un segundo ejemplo. Se pretende introducir calcio (Ca^{++}) en el organismo, procedente de una solución

de cloruro cálcico, bajo el ánodo durante 20 minutos con intensidad de 7 mA. ¿Cuántos gramos de Ca^{++} penetrarán? (no se considera el tamaño del electrodo activo).

Siendo la masa molar $P_m = 40,1$; la valencia = +2; la constante de Faraday = 96.500; el equivalente electroquímico = 0,0002078; la intensidad = 0,007 A, y el tiempo $(20 \cdot 60) = 1.200$ s:

$$M_g = \left(\frac{40,1}{2 \cdot 96500} \right) \cdot 0,007 \cdot 1200 = 0,00170 \text{ g [1,7 mg]}$$

Por regla general, todos los factores o variables de la ecuación son inamovibles, salvo el tiempo de la sesión. Por ello, la fórmula definitiva, siempre que se incorpore M_g (masa en gramos) como valor prefijado y se aísle el tiempo, quedaría de la siguiente manera:

$$M_g = E \cdot l \cdot t \Rightarrow t = \frac{M_g}{E \cdot l}$$

Dado que en la práctica no es fácil conseguir el equivalente electroquímico como información aportada por los laboratorios farmacológicos, pero es más viable disponer del peso molecular y la valencia del ion o de la molécula con que se desea trabajar, la fórmula se volverá más compleja, aunque sea la misma:

$$M_g = \frac{P_m}{v \cdot F} l \cdot t \Rightarrow t M_g = \frac{P_m \cdot l \cdot t}{v \cdot F} \Rightarrow$$

$$M_g \cdot v \cdot F = P_m \cdot l \cdot t \Rightarrow t = \frac{M_g \cdot v \cdot F}{P_m \cdot l}$$

A continuación se aporta un tercer ejemplo. Para introducir 10 mg de Ca^{++} con una iontoforesis en que se aplican 6 mA, ¿cuánto tiempo durará la sesión?

Siendo la masa molar $P_m = 40,1$; la valencia = +2; la constante de Faraday = 96.500; el equivalente electroquímico = 0,0002078; La intensidad = 0,006 A; el Ca^{++} $M_g = 0,010$ g, y el tiempo = x s y partiendo de la fórmula siguiente:

$$t = \frac{g \cdot v \cdot C_f}{P_m \cdot I} = \frac{0,01 \cdot 2 \cdot 96500}{40,1 \cdot 0,006} = 8.201,6 \text{ s (133 minutos)}$$

Para depositar 10 mg de calcio se necesitarán 133 minutos.

Más sencillo resultará aplicar la fórmula abreviada, pero antes se hallará el *equivalente electroquímico*:

$$E_e = \frac{P_m}{v \cdot C_f} = \frac{40,1}{2 \cdot 96.500} = 0,0002078$$

$$t = \frac{g}{E_e \cdot I} = \frac{0,01}{0,0002078 \cdot 0,006} = 8024,3 \text{ s}$$

El resultado ofrece casi los mismos valores que en el procedimiento anterior.

Si la cantidad de medicamento introducido se expresa en g, la intensidad se expresará en A. En cambio, si se expresa en miligramos (mg), la intensidad se expresará en miliamperios (mA).

Si en verdad se pretende acercarse a comportamientos científicos, previamente se aplicará la técnica, sobre la base de la ley de Faraday, y después se elucubrará con estudios y respuestas estadísticas.

Cálculo del peso molecular

Dado que es más práctico trabajar con el peso molecular que con el equivalente electroquímico, es importante saber hallarlo. El peso o masa molecular de un elemento simple se encuentra en las tablas periódicas de los elementos químicos, pero el cálculo de una molécula está determinado por la suma de las masas molares o pesos moleculares de todos los elementos que componen la molécula.

Supóngase la molécula de la sacarosa ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$):

$\text{C}_{12} = 12,01 \cdot 12 = 144,12$	$144,12 + 22,22 + 176 = 342,34$
$\text{H}_{22} = 1,01 \cdot 22 = 22,22$	
$\text{O}_{11} = 16,00 \cdot 11 = 176$	

Práctica 7-1

¿Cuál es el peso molecular de la lidocaína si su molécula es $C_{14}H_{22}N_2O$?

Práctica 7-2

¿Cuál es el peso molecular del ácido acético cuya fórmula es CH_3CO_2H ? Pueden consultarse los pesos moleculares de los elementos en la [tabla 7-1](#).

Práctica 7-3

¿Cuál es el peso molecular del ácido fórmico si su molécula es CH_2O_2 ?

Voltaje de ionización

El paso de intensidad con su medida correspondiente implica que tiene que existir una diferencia de potencial (voltaje) que sea capaz de desplazar a los iones en cuestión. Este voltaje tiene que alcanzar un valor mínimo o voltaje de ionización. Es muy importante conocer su valor y comprobar si se ha superado el voltaje de ioni-

zación del compuesto medicamentoso empleado en cada caso, prueba o tratamiento.

Ya se han publicado trabajos sobre un medicamento determinado aplicado en iontoforesis, de manera que debido a las características del galvanizador empleado, al no tener en cuenta determinados parámetros, no realizar las medidas oportunas, etc., se consideraron estudios serios. En última instancia, el famoso medicamento en cuestión presentaba una resistencia tan alta al paso de la corriente galvánica que puede corroborarse su falta de conductividad y, en consecuencia, la ineficacia del tratamiento.

Además, el estimulador señalaba un falso paso de corriente (debido a su diseño de fabricación). Al comprobar la medición de parámetros reales en la salida, la intensidad era 0. Esto conduce, de nuevo, a la necesidad de usar un galvanizador que informe con la suficiente precisión de lo acontecido en el circuito durante la sesión, de la intensidad como parámetro que hay que regular, de la dosis galvánica en mA/cm², del voltaje y de la resistencia del circuito mediante cálculo matemático (Fig. 7-7).

Esta información llevará a intentar, como poco, que las condiciones de los electrodos sean en todas las ocasiones lo más semejantes posibles y, si en una aplicación se observa que el voltaje es distinto a otras con la misma intensidad, será debido a cambios importantes

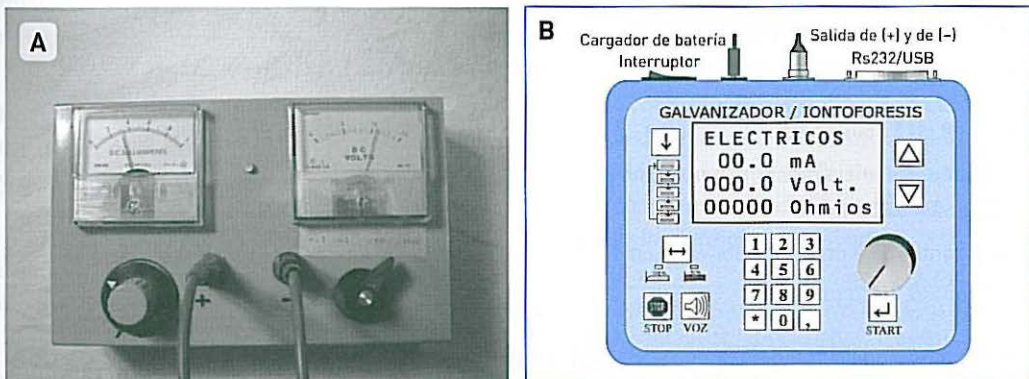


Figura 7-7. A) Prototipo de galvanizador analógico que mide la intensidad y el voltaje de manera simultánea. B) Esquema de un posible galvanizador digital con todo su potencial de medidas y cálculos.



Prácticas experimentales

Se han llevado a cabo las siguientes prácticas experimentales.

Se prepararon dos aplicaciones con parámetros de intensidad iguales (5 mA), pero con dos electrodos activos diferentes (25 cm² y 60 cm²) aplicables en una sesión de iontoforesis o de galvanismo sin medicamento. El electrodo indiferente fue de unos 100 cm². Se leyeron los siguientes parámetros:

25 cm ²	60 cm ²
Intensidad = 5 mA Voltaje = 19 V	Intensidad = 5 mA Voltaje = 16 V

Con un electrodo de 25 cm². Si este ejemplo se realizara en la práctica, debería ser durante poco tiempo por su elevada densidad de energía. No debe superar el minuto.

1) ¿Qué resistencia opone el circuito?

Como $R = V/I$; $R = 19/0,005 = 3.800 \Omega$

2) ¿Cuánta potencia se aplica?

$W = V \cdot I$; $W = 19 \cdot 0,005 = 0,095 \text{ W (95 mW)}$

3) ¿Cuántos J se aplicarán después de 12 minutos de sesión?

$J = W \cdot t$ en segundos; $J = 0,095 \cdot (12 \cdot 60) = 68,4 \text{ J}$

4) ¿Qué resistencia presenta por cada cm²?

$3.800/25 = 152 \Omega/\text{cm}^2$

5) ¿Cuántos J se producen por cada cm²?

$68,4/25 = 2,7 \text{ J/cm}^2$

Véase la figura 7-8.

Con un electrodo de 60 cm². En este caso, no hay riesgo con la intensidad.

1) ¿Qué resistencia opone el circuito?

Como $R = V/I$; $R = 16/0,005 = 3.200 \Omega$

2) ¿Cuánta potencia se aplica?

$W = V \cdot I$; $W = 16 \cdot 0,005 = 0,08 \text{ W (80 mW)}$

3) ¿Cuántos J se aplicarán después de 12 minutos de sesión?

$J = W \cdot t$ en segundos;

$J = 0,08 \cdot (12 \cdot 60) = 57,6 \text{ J}$

4) ¿Qué resistencia presenta por cada cm²?

$3.200/60 = 53,33 \Omega/\text{cm}^2$

5) ¿Cuántos J se producen por cada cm²?

$57,6/60 = 0,96 \text{ J/cm}^2$

Si se comparan los resultados de cada aplicación, puede comprobarse que no coinciden en resistencia ni en potencia ni en J/cm². En definitiva, si la dosificación únicamente se basa en la intensidad leída en mA, ello no es garantía de dosificación correcta.

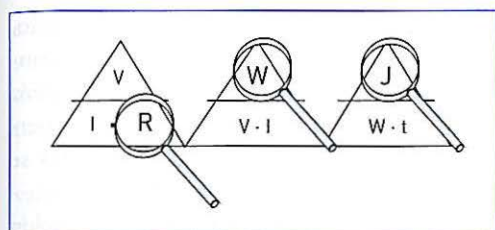


Figura 7-8. Recordatorio sobre cómo se utilizan la ley de Ohm y la ley de Joule.

en el circuito aplicador o en el paciente. Se necesita la doble información de intensidad y diferencia de potencial (voltaje) para no volver a caer en tan abundantes y crasos errores.

La resistencia del circuito también es fundamental, pues, además de influir de manera directa en el voltaje aplicado a todo el electrodo, es distinto al aplicado por unidad de superficie, según si los electrodos son grandes o pequeños.

Cualquier cambio en la resistencia provocará cambios en los demás resultados, en valores que pueden ser importantes y, por norma, la resistencia del paciente se modificará durante la sesión. ¿Cómo influye este cambio? ¿Qué significado tiene? En los experimentos y cálculos que se han presentado se muestran las influencias.

Ventajas e inconvenientes de la iontoforesis

La aplicación transcutánea de medicamentos (iontoforesis) ofrece ventajas e inconvenientes (Tabla 7-2).

Factores que influyen en la correcta aplicación y dosificación de la técnica

En esta técnica son trascendentales la dosis que debe aplicarse y los factores que influyen en ella, y existen varios que merecen un mínimo análisis:

1. Dudas sobre la polaridad.
2. Cantidad del medicamento contenida en la disolución usada en cada aplicación.

Tabla 7-2. Ventajas e inconvenientes de la iontoforesis

Ventajas	Inconvenientes
Es una técnica de fácil uso y aplicación	No se puede o no se debe aplicar cualquier medicamento
No implica agresiones digestivas ni cruentas	No se sabe (o no es fácil de saber) la dosis exacta que se aplica
Su efecto es local	No son factibles dosis elevadas
Ejerce un posible efecto general (según el compuesto y la cantidad introducida)	Se deben evitar medicamentos de potente efecto general
Su aplicación es indolora	
Se aprovechan otros efectos del galvanismo	
Permite tratamientos de larga duración	

3. Concentración del fármaco.
4. Estado del paciente y de su piel.
5. Cantidad de medicamento introducido (al aplicar la ley de Faraday).
6. Dimensiones del electrodo activo.
7. Duración de la sesión.
8. Frecuencia de las sesiones.
9. Duración del tratamiento completo.

Dudas sobre la polaridad

Una de las mayores dudas (y factor influyente básico) que se plantea al aplicar iontoforesis es sobre el comportamiento eléctrico del compuesto medicamentoso en cuanto a su polaridad. En caso de fallo (ante el 50 % de posibilidades), el efecto terapéutico se anula totalmente (v. «Polaridad de los medicamentos», antes).

Debe recordarse en este punto que el radical medicamentoso se aplicará bajo el electrodo de la misma polaridad que el ion para que éste sea rechazado e impedido hacia el interior corporal.

Cantidad del medicamento usado en cada aplicación

Dependiendo de la concentración del fármaco, puede utilizarse mayor o menor cantidad de medicamento. Sin embargo, si se rocía la esponjilla adaptada a un electrodo pequeño (casi chorreando) con determinada cantidad en cm^3 , ésta se empapará mucho y cada cm^2 estará en contacto con gran número de iones. Si, por el contrario, la misma cantidad del fármaco se empapa en la gamuza de un electrodo grande (ligeramente humedecida), cada cm^2 de superficie tratada entrará en contacto con una proporción insuficiente de medicamento.

Según esto, se necesita buscar la forma para superar la variante del tamaño del electrodo, lo cual nos lleva a establecer un valor medio que tenga en cuenta el tamaño y el grosor de la gamuza.

Podría afirmarse que éste sería:

1 cm^3 de disolución por cada 5 cm^2 de gamuza (mejor gasas) con un grosor medio de 6 mm, sin comprimir.

Esto significa que para una gamuza o paquete de gasas de unos 50 cm^2 , se emplearán ampollas de 10 cm^3 . Con todo, en este punto la experiencia personal marcará la pauta fundamental. Se tratará de conseguir suficiente humedad en la gamuza para que garantice el paso de la corriente y no se agoten los iones a lo largo de la sesión. Es cierto que se desperdicia medicamento no aplicado.

La metodología ideal y más normal consistiría en disponer de una disolución preparada del medicamento que se va a utilizar y empapar con ella un paquete de gasas estériles, las cuales se colocarán bajo el electrodo adecuado «que no chorreen al comprimirlas».

Concentración del fármaco

La concentración puede atacar la piel por contacto directo y puede influir en el organismo una vez que se encuentre en el interior

e interactúe con otros elementos. Por ejemplo, el ácido acético al 10 %, sólo por estar en contacto con la piel, la irrita o «la quema», pero una disolución al 2 % se tolera de forma perfecta, aunque después de varias sesiones se aprecia cierto deterioro de la piel.

Las concentraciones más habituales suelen estar al 2 % en las sustancias poco potentes, en tanto que para sustancias de mayor efecto, como puede ser la *histamina* o la *acetilcolina*, se emplean al uno por mil (1 ‰) o incluso al uno por diez mil (1 ‰).

Si la gamuza se ha empapado antes en agua destilada, se reducirá la concentración, pero si se vierte de forma directa sobre una gamuza seca o ésta se introduce dentro de la disolución destinada al tratamiento, se mantendrá el nivel de concentración.

Hace algún tiempo se fabricaban preparados para aplicarse en *iontoforesis*. En la actualidad ésta no es la tónica, pero se pueden conseguir preparados en farmacia o compuestos a la venta que pueden servir, bien en su disolución bien tras rebajarla.

La concentración está determinada por el fabricante o por las tablas que a este respecto han publicado varios autores. La escasa concentración del medicamento influye en la conductividad del electrodo y en la abundancia de iones que deben desplazarse hacia el interior orgánico.

No debe rebajarse la concentración ni humedecer más la gamuza al añadir a la sustancia ya vertida suero fisiológico o agua del grifo, ya que se altera la composición con nuevos iones.

La cantidad de iones o moléculas introducidas no depende de la mayor o menor concentración, pues la ley de Faraday indica el número o la cantidad introducida (salvo escasez manifiesta del compuesto).

Estado del paciente y de su piel

Esta técnica se aplica sobre piel en buen estado salvo que se lleve a cabo un tratamiento

concreto de alteraciones específicas de la piel y sus tegumentos próximos, como una úlcera diabética, psoriasis u otros con un posible tratamiento específico.

Como fisioterapeutas, previamente hay que valorar las posibles reacciones del paciente ante determinada dosis según sus efectos a nivel local, general y en la piel. Esto aportará datos para decidir otros puntos, como la concentración del medicamento o la periodicidad del tratamiento e, incluso, si dicho tratamiento está contraindicado por causa de reacciones alérgicas.

Merece la pena perder una o dos sesiones para estudiar la lesión y sus reacciones, y practicar tratamientos seguros en lugar de producir efectos contraproducentes, de consecuencias, a veces, muy desagradables, para reafirmarse en el concepto siguiente: *siempre se aplicarán tratamientos sobre objetivos concretos hasta conseguirlos*. Además, si no se aprecia respuesta adecuada, es preferible considerar que la técnica ha fracasado y proceder a su retirada.

Cantidad de medicamento introducido

Es interesante conocer que en los laboratorios de análisis clínicos, a la hora de practicar procesos analíticos basados en la electrólisis o electroforesis, se guían por el voltaje aplicado más que por la intensidad, hasta obtener los resultados deseados, pues la fuerza electromotriz o diferencia de potencial en realidad dispersa los iones hacia el ánodo o hacia el cátodo dentro de la disolución. No debe olvidarse que es muy diferente trabajar *in vitro* que hacerlo sobre tejidos vivos sin dañarlos.

Ello implica una aplicación en tensión constante y las aplicaciones en tensión constante sobre el organismo no permitirán alcanzar voltajes altos ni intensidades altas, pues existen graves riesgos de quemadura. Así pues, dado que no se puede aplicar ninguno de los parámetros eléctricos en cantidades suficientes, la potencia aplicada será insuficiente a todas luces.

Sin embargo, la realidad cotidiana y la práctica diaria sólo ofrecen la medida de intensidad en mA con equipos que se aplican en intensidad constante, por lo que se adapta de forma automática el voltaje a las necesidades del circuito según la intensidad aplicada y su resistencia. Es muy probable que circunstancias como la aplicación práctica, la falta de control en los parámetros eléctricos, el desconocimiento de la *fuerza electromotriz* necesaria para romper y mover la molécula en cuestión, las dudas que rodean al nivel de paso molecular por la piel y las características electroquímicas del medicamento conviertan la iontoforesis en una técnica que, en gran número de tratamientos realizados, resulte fallida sin saberlo.

La intensidad en mA debe estar normalizada por lo anteriormente expuesto sobre la galvanización, donde se hacía referencia a una intensidad media de 0,15 mA/cm². Sin embargo, en el caso de la iontoforesis, es preferible quedarse por debajo de la media, ya que se trata de introducir un medicamento y no de conseguir determinados efectos galvánicos. La cifra referida de 0,15 mA/cm² en el galvanismo es la dosis, pero no así en este caso, porque la dosis deseada sería la cantidad de medicamento introducido por cantidad de volumen corporal o por cm² del electrodo (v. «Aplicación de un caso real buscando precisión en la dosis», en el cap. 5).

Dado que en esta técnica el factor principal que debe considerarse es la cantidad de medicamento introducido (expresado en gramos) pero, con la limitación de 0,15 mA/cm², se estará condicionado por un valor en intensidad durante determinado tiempo hasta alcanzar los gramos pretendidos.

Dimensiones del electrodo activo

La superficie de la gamuza del electrodo activo (con su grosor habitual) que soporta la disolución medicamentosa influye de forma directa



Práctica sobre parámetros eléctricos del circuito



Vídeo 7-2. Medida de resistencia

Se prepara una aplicación contralateral sobre una rodilla de forma que se disponga de un electrodo muy grande que actuará de indiferente (unos 120 cm²) y tres electrodos más pequeños (uno de 30 cm², otro de 60 cm² y un tercero de 80 cm²; Fig. 7-9 A)

Todos se mojarán de forma simultánea para que todos posean el mismo grado de humedad.

Se llevarán a cabo tres pruebas con la corriente galvánica y en todas se usará el electrodo masa de 120 cm², pero la primera con el pequeño, la segunda con el mediano y la tercera con el de 80 cm².

Se preparará el electroestimulador y el circuito de forma que se pueda medir el voltaje con un polímetro en la escala de voltios en corriente continua (V = o V DC).

Se aplicará la *corriente galvánica* de forma que con el pequeño pasen 4,5 mA, por el mediano pasen 9 mA y por el de 80 cm² pasen 12 mA (30 por 0,15; 60 por 0,15, y 80 por 0,15).

Se tendrá especial cuidado en que las tres pruebas tengan la misma presión en la fijación, la misma humedad y el mismo tiempo de aplicación. Se tomará nota de los valores hacia los 30 s de haber estabilizado la intensidad (Fig. 7-9 B).

Se calcula la resistencia en los tres casos o mediciones ($V/I = R$) y la resistencia por cada cm² del electrodo pequeño en cuestión ($R/Scm^2 = R$ por unidad de superficie).

Recuérdese que los valores de cálculo tienen que estar en su unidad correspondiente. No hay que calcular operando voltios con miliamperios.

Lecturas	Resistencia en Ω	R en Ω/cm^2
30 cm ² · 4,5 mA – 20,3 V	4.511 Ω	150,3 Ω/cm^2
60 cm ² · 9,1 mA – 25,2 V	2.769 Ω	46,15 Ω/cm^2
80 cm ² · 12 mA – 30 V	2.500 Ω	31,25 Ω/cm^2

Se observa que los Ω/cm^2 no son los mismos en cada prueba y que sufren una tendencia inversa al tamaño del electrodo, es decir, con electrodos pequeños la resistencia relativa es mucho mayor que con electrodos grandes, como se ha descrito antes. Además, el voltaje relativo, cuando el electrodo es pequeño, es mayor que cuando es grande. Por esto, el riesgo de quemadura es más alto con electrodos pequeños que con grandes.

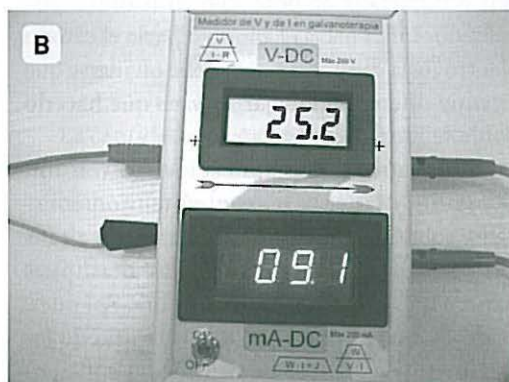
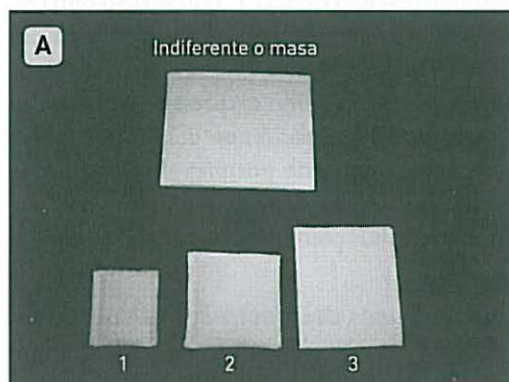


Figura 7-9. A) Electrodos usados en la práctica: electrodo de 30 cm² (1); electrodo de 60 cm² (2), y electrodo de 80 cm² (3). El electrodo indiferente es de 120 cm². B) Una de las tres medidas realizadas.

en la dosis debido a: la cantidad del medicamento que puede sustentar, su concentración, la intensidad, resistencia y voltaje de la corriente, y el propósito que se pretende conseguir.

Sobre la cantidad del fármaco. Esto ocurre porque la cantidad empleada es directamente proporcional al tamaño del electrodo. Se reitera que antes se ha indicado el empleo de 1 cm^3 de disolución por cada 5 cm^2 de gamuza.

Sobre la intensidad, la resistencia y el voltaje de la corriente. Influye sobre la dosis desde el momento en que se tenga en cuenta su superficie para calcular la intensidad en unidades por cm^2 y la influencia directa en la diferencia de potencial de acuerdo con la resistencia del circuito, de forma que a mayor electrodo, menor resistencia por unidad de superficie; a menor electrodo, mayor resistencia por cm^2 (v. Fig. 5-15).

Sobre la concentración. Influye por el hecho de que, cuanto mayor superficie de electrodo, menor proporción por cm^2 de piel ante la misma concentración de la disolución preparada. A menor superficie hay mejor localización local y mayor proporción de medicamento bajo la piel.

En cuanto al propósito deseado. Habrá que adaptar el tamaño a la zona, patología y objetivos buscados sin caer en aplicaciones con electrodos sin el debido control ni la técnica precisa, aunque por motivos de depuración en la metodología de la técnica será bueno utilizar, siempre que sea posible, el mismo tamaño y tipo de electrodo tendente a una superficie media entre 50 y 70 cm^2 .

Asimismo, en ocasiones se deseará practicar una aplicación en dos puntos al mismo tiempo con dos electrodos de la misma polaridad o más. La solución se halla estableciendo derivaciones en el cable del mismo polo, pero debe tenerse presente que el otro electrodo utilizado

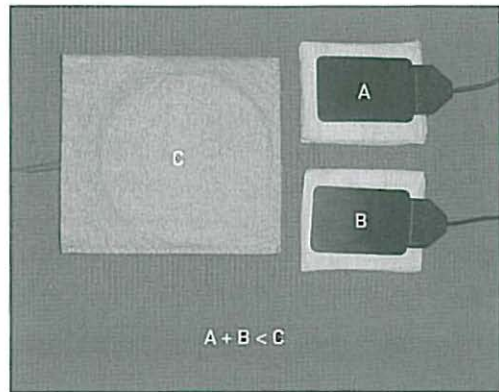


Figura 7-10. En caso de bifurcación, la suma del tamaño de los electrodos A + B tiene que ser menor que el electrodo C.

como masa o común debe ser más grande que la suma de la superficie de los activos y la suma de la superficie de los activos será el valor tomado como superficie de aplicación (Fig. 7-10).

Esta modalidad no es recomendable, ya que la resistencia no resultará la misma en distintos lugares de aplicación al alterar los parámetros eléctricos, y que quizá se producirá la circunstancia en que por un electrodo circule más energía que por el otro.

Duración de la sesión

El tiempo que puede durar una sesión de tratamiento depende, sobre todo, de la *cantidad de medicamento que se desee introducir* y de la aplicación de la fórmula de Faraday, aunque debe considerarse la agresividad del fármaco, la proporción en la disolución, la intensidad eléctrica elegida y las precauciones que se deben tomar en las primeras sesiones del tratamiento.

Así pues, antes de decidirse por un tiempo determinado, es conveniente que se valoren posibles reacciones del paciente y se apliquen tiempos cortos de 5 a 10 minutos, y si no se aprecia nada en contra, se intentaría acercarse a tiempos obtenidos por la fórmula de Faraday. En la práctica cotidiana suelen aplicarse tiem-

pos que rondan entre los 15 y los 20 minutos, pero ello implica un tratamiento empírico o «poner algo porque debe ser mejor que nada».

No hay que olvidar que la iontoforesis se realiza con corriente continua (también pueden utilizarse otras corrientes galvánicas interrumpidas) al igual que la técnica de galvanismo y sus efectos, por lo que es imprescindible considerar los efectos polares e interpolares para que no lleguen a ser contrarios a los buscados por la iontoforesis, sobre todo el de anaelectrotono y cataelectrotono. Se pueden estar anulando los resultados de una iontoforesis con la inadecuada aplicación del galvanismo que lleva implícito.



Vídeo 7-3. Dosis en mA por minuto

7

Dosificación en mA/minuto. En el mercado puede encontrarse una gama de galvanizadores para iontoforesis que se dosifican en mA/minuto. Utilizan la misma metodología que la expuesta en estos capítulos salvo que, en lugar de trabajar con los mA expresados por cada s, se refieren a mA (de cada segundo), que se aplican durante 1 minuto. A continuación se expresa mediante un ejemplo.

Supóngase que un galvanizador (con el método sugerido) aplica 5 mA. Cada minuto acumula 5 mA de manera que se multiplica el número de minutos por los miliamperios aplicados. Así se tiene:

5 mA · 1 min = 5 mA/min	5 mA · 2 min = 10 mA/min	5 mA · 3 min = 15 mA/min	5 mA · 4 min = 20 mA/min
----------------------------	-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------

Según la física no puede aplicarse este sistema, ya que, si los mA se miden en 1 s, en 1 minuto será el valor medido por 60 s. Supóngase que el mismo equipo aplica 5 mA de salida; en el transcurso de 4 minutos se contará con:

5 mA · 60 s = 300 mA/min	5 mA · 120 s = 600 mA	5 mA · 180 s = 900 mA	5 mA · 240 s = 1.200 mA
-----------------------------	--------------------------	--------------------------	----------------------------

Nada tiene que ver el primer grupo de cálculos con el segundo. Ninguno de los dos es el adecuado:

- En el segundo caso podría tomarse lo ocurrido en 1 minuto como múltiplo o en una hora. De esta guisa es frecuente hablar de «kilovatios/hora» en lugar de vatios por segundo, «kilómetros/hora» en lugar de metros por segundo.
- En el primer caso puede saberse el tiempo que se aplica el galvanizador durante la sesión de forma que, si al equipo se le ajustan los mA de salida en cada segundo y también se ajustan los mA/min totales. Si se dividen los mA/min entre mA de salida y se obtiene los minutos de sesión.

El método de aplicación con los galvanizadores que usan el sistema de «mA/min» en realidad pretende regular de forma simultánea el tiempo de sesión, pero es un método que confunde más ante tantas cuestiones no aclaradas. Nunca debe olvidarse que si se hace referencia a intensidad o potencia, se tratará de lo ocurrido justo en 1 s.

Frecuencia de las sesiones

La potencia de los medicamentos y la cantidad introducida serán, junto con la tolerancia del paciente, los factores que marquen el intervalo entre sesión y sesión, que podrán ir desde dos a tres por semana hasta una cada dos días o una aplicación diaria.

En los casos agudos debe aumentarse la frecuencia, mientras que en los crónicos se tenderá a distanciar las sesiones por ser habitual en estos procesos tratamientos prolongados e indicios de alteración en la piel, bien por exceso de corriente bien por ataque del compuesto medicamentoso.

Un tratamiento con lidocaína puede realizarse a diario sin problemas, pero uno con ácido acético requiere intervalos a las pocas

sesiones del inicio por el enrarecimiento de la piel (sobre todo si está al 5 %).

Duración del tratamiento completo

Una vez que se han conseguido los resultados propuestos, se debe suspender el tratamiento, así como en caso de intolerancia o quemaduras. Las aplicaciones de analgésico o anestésicos locales (procaína o lidocaína) con 4-6 sesiones pueden ser suficientes. Las aplicaciones como el ácido acético se suelen mantener durante un mes hasta contrastar en la radiografía su resultado.

Los procesos agudos por lo general requieren tratamientos cortos, mientras que los crónicos tienden a ser más prolongados.

Sobre la capacidad de penetración de los iones dentro de los tejidos orgánicos o no, hay que comentar que se han practicado pruebas con isótopos de yodo 131 aplicado por iontoforesis y se ha observado por gammagrafía que habían penetrado unos centímetros en pocos minutos. El propio experimento de Leduc demuestra que la estricnina y el cianuro entran pronto en las vías sanguíneas y producen efectos generales (en este caso, la muerte).

Así pues, según esto, una de las precauciones fundamentales son los posibles efectos secundarios a nivel general del medicamento elegido.

Empleo de otras corrientes distintas de la corriente galvánica para iontoforesis

De forma clásica se emplea la corriente galvánica, pero —dadas las posibilidades para ge-

nerar multitud de frecuencias y formas de corrientes con la microelectrónica— puede utilizarse cualquiera de las que formen parte del gran grupo de las galvánicas interrumpidas, aunque lógicamente se tenderá a elegir las que mantengan mayor componente galvánico.

Serán corrientes de impulsos preferentemente cuadrangulares, monofásicos, que combinan tiempos de impulsos con los reposos, lo cual, por una parte, disminuye la intensidad eficaz en mA, pero, por la otra, aparecen efectos sensitivos muy útiles para evitar riesgos de quemaduras y disponer de información más objetiva aportada por el paciente.

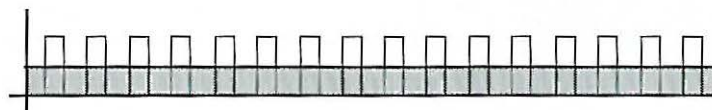
Una corriente usada con frecuencia para iontoforesis es la difásica fija (DF) de las diadinámicas por su alto componente galvánico, el 66,6 % (2/3). Por regla general, las formadas con pulsos cuadrados no permiten superar el 50 %, pero ésta lo sobrepasa.

La intensidad aplicada en estos casos no coincide con la señalada en el miliamperímetro del equipo dado que se introducen momentos de descanso en la aplicación (Fig. 7-11). La nueva intensidad será calculada con la fórmula:

$$I_{\text{eficaz}} = I_{\text{pico}} \cdot \tau_{\text{impuls}} \cdot F_{\text{en Hz}}$$

Esta fórmula es muy útil para hallar los mA que trabajan como componente galvánico después de leer la intensidad de pico. Sin embargo, en otras ocasiones, se parte de corrientes que informan del porcentaje en componente galvánico de una corriente y hay que traducir el porcentaje a valores reales para medir con el estimulador (v. «Quemaduras con galvánicas interrumpidas», en el cap. 5).

Figura 7-11. Corriente con el 50 % de componente galvánico [sin especificar la frecuencia ni los tiempos de pulso ni de reposo].





Videos 2-8 y 2-9. Intensidad eficaz e Intensidad eficaz al 50

Puesto que la intensidad en cada pulso es alta, el voltaje aplicado con cada pulso también aumenta, fenómeno muy interesante para garantizar un buen voltaje de ionización (v. «Voltaje de ionización», antes) que contribuye a la rotura y desplazamiento de iones o moléculas ionizadas.

En caso de no desear efectos sensitivos, puede aumentarse la frecuencia al invadir la banda de medias frecuencias, como puede ser: impulsos de 0,1 ms y reposos de 0,1 ms correspondiente a la frecuencia de 5.000 Hz.

Es frecuente escuchar y leer que «las corrientes interferenciales se utilizan para iontoforesis». En principio, no es posible salvo que se modifiquen de forma adecuada. La media frecuencia y las corrientes interferenciales se basan en una portadora de corriente alterna de media frecuencia, la cual, sometida a un filtraje por diodos, se convertirá en corriente con ondas semejantes a las difásicas fijas (DF) de las diadinámicas, pero de mayor frecuencia (4.000 Hz; Fig. 7-12).

Puede filtrarse tanto la portadora antes de modularla en baja frecuencia, como ya modulada. Sin embargo, es más fácil de medir y controlar cuando se rectifica de manera directa la portadora de 4.000 Hz sin modular.

Una precaución que no debe olvidarse cuando se utilizan las medias frecuencias o interferenciales rectificadas para iontoforesis consiste en el riesgo añadido de que son corrientes que, en general, se aplican en tensión constante, circunstancia que puede causar quemadura galvánica, pues al bajar la resistencia de los tejidos, aumenta la intensidad y, en consecuencia, la potencia. Si se usa esta modalidad, es fundamental colocar el equipo en intensidad constante o CC (v. «Tensión constante» e «Intensidad constante», en el cap. 1).

Foresis de medicamentos por electroporación



La electroporación consiste en generar poros o conductos en la membrana celular para provocar la entrada de fármacos (u otras sustancias) en el interior celular. Esto se consigue mediante pulsos monofásicos de muy corta duración (de unos 0,05 a 0,1 ms), pulsos de alto voltaje (entre 400 y 1.000 V) y frecuencias muy bajas (alrededor de 1 Hz) que se aplican en secuencias de 5 a 10 pulsos. Es una técnica de laboratorio para realizar *in vitro*.

Esta técnica origina otra usada en fisioestética, por la cual se supone la apertura de poros o vías de paso hacia el interior del organismo en la piel, para facilitar el paso a sustancias que se aplican sobre esta. Dicha *electroporación de la piel* se conseguiría de varias formas, pero, entre ellas, se hará referencia a dos:

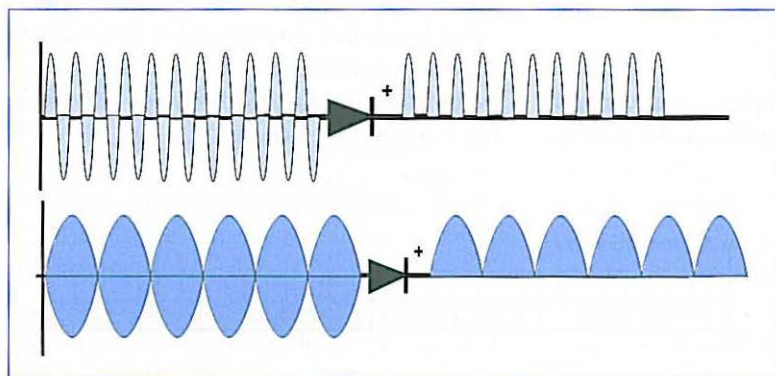


Figura 7-12. Si las corrientes alternas o moduladas alternas se someten al filtrado por un diodo, se convierten en corrientes pulsadas monofásicas con componente galvánico.

- Una modalidad lo consigue mediante el empleo de electrodos o cabezales que aplican pulsos monofásicos de alto voltaje, corta duración, pero con frecuencias que superan los 500 Hz para reducir en lo posible el estímulo sensitivo y las consiguientes molestias.
- Asimismo, otros equipos lo hacen con electrodos de turbulencia electromagnética (v. «Electroporación», en el cap. 13) con radiofrecuencia pulsada que no produce estímulo sensitivo ni calor. Estos pulsos de inducción electromagnética son también cortos ($\pm 0,1$ ms) y se suelen aplicar en forma de ráfagas con frecuencias que dependen mucho de cada fabricante.

En esta segunda modalidad de aplicación, tanto la polaridad del medicamento como la polaridad de la corriente no tienen importancia. En la primera modalidad de la técnica se defiende que tampoco porque, si se abren poros sobre la piel, en teoría no influye la polaridad iónica, pero, de hecho, se observan respuestas diferentes con polaridad [+] o con [-] en el electrodo activo.

Las sustancias medicamentosas más contrastadas en electroporación son típicas en la aplicación de técnicas de estética. Sería intere-

sante comprobar resultados con sustancias de uso en patologías, como analgésicos o antiinflamatorios.

ALGUNOS EJEMPLOS DE IONTOFORESIS

Dado el alto nivel de empirismo que habitualmente se emplea en esta técnica y la abundancia de errores que se cometen, es fundamental cambiar la metodología de aplicación a fin de perfeccionar la técnica de tratamiento e intentar un acercamiento a modos de trabajo más científicos. No obstante, es importante considerar que todavía persisten ciertos conceptos confusos y dudas por resolver.

Es fundamental no alterar la composición del medicamento al añadir suero fisiológico, agua destilada, agua del grifo u otras sustancias al electrodo o a la disolución. La gamuza (paquete de gasas estériles) sólo se empapará con el preparado medicamentoso en solución acuosa.

Siempre debe medirse el electrodo pequeño (activo) y hay que fijarlo de forma homogénea y perfecta (Fig. 7-13 A y B).

En iontoforesis, la colocación de electrodos debe llevarse a cabo de forma contralateral y ambos electrodos deben estar lo más próximos

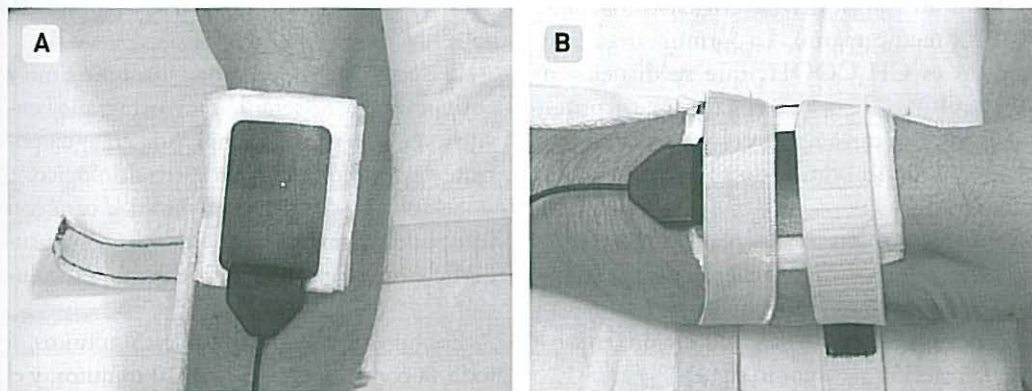


Figura 7-13. A) Paquete de gasas empapadas en la disolución medicamentosa y electrodo sobrepuesto de forma que sea más pequeño que las gasas en contacto con la piel. B) La fijación tiene que garantizar un apoyo homogéneo y seguro.



Figura 7-14. A) Ambos electrodos se presentan en aplicación contralateral en el proceso de fijación cuidadosa. B) La fijación de electrodos es incorrecta y probablemente causará una quemadura al paciente.

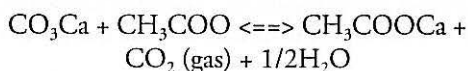
entre sí. El activo será más pequeño y el indiferente, de mayor tamaño (Fig. 7-14 A y B). La fijación incorrecta e insuficiente es una de las causas más importantes de quemadura galvánica (Fig. 7-14 B).

Iontoforesis con ácido acético

Se está extendiendo la aplicación de ácido acético para tratar los procesos de calcificaciones con el objetivo de conseguir la disociación del precipitado cálcico. A continuación se describe cómo un fisioterapeuta debería plantearse una aplicación de iontoforesis con dicho compuesto.

En primer lugar debe averiguarse la polaridad del medicamento. La fórmula del ácido acético es CH_3COOH , que se disocia en $\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+$. El radical acetato posee CH_3CO_2^- con carga negativa [-], se introducirá en el interior del organismo y se situará bajo el cátodo [-].

A continuación se planteará cómo puede actuar el compuesto de acuerdo con su ecuación química. Supóngase que el radical negativo alcance la zona de la calcificación; entonces, la reacción sería como sigue:



El carbonato cálcico reacciona con el acetato para formar acetato cálcico más CO_2 más agua; con ello se reitera que se da por supuesto que dicho radical alcanza la zona, bien porque traspasa la piel bien porque reacciona y forma otros compuestos en el medio biológico antes de entrar en contacto con el cloruro cálcico del proceso que interesa.

Se continuará con la aplicación de la técnica. Se conseguirá un preparado en disolución de ácido acético al 2 % para empapar con él unas gasas estériles de manera abundante que se situarán sobre la zona afectada. Estas gasas no se mojarán ni empaparán previamente con ningún otro líquido o sustancia. Sobre las gasas se sitúa el electrodo [-] (sin envolverlo con otra gamuza; Fig. 7-13 A y B).

El electrodo [+] opuesto se fijará próximo y enfrentado, pero será de mayor tamaño, envuelto en una gamuza empapada en agua potable del grifo o, mejor, en suero fisiológico.

Se aplicará corriente galvánica u otra con componente galvánico de acuerdo con la superficie de las gasas empapadas en la disolución.

El primer día se ajustará unos 5 minutos, si todo va correcto; el siguiente, 10 minutos, y el tercero, 15 minutos. Si el paciente tolera bien la sesión, pueden aplicarse los 20 minutos después de haberlo tanteado en las primeras sesiones.

Esta es la técnica empírica, pero debe hacerse así en las primeras sesiones y observar las reacciones del paciente. Una vez que se está seguro de que todo funciona de manera correcta, se aplicará la ley de Faraday (v. «Cantidad de medicamento introducido», antes).

Para aplicar dicha fórmula, se requiere saber el peso molecular y la valencia del ácido acético. El peso molecular es 60,05 y la valencia, 1.

Supóngase que se pretenden introducir 5 mg, con una intensidad de 6 mA. ¿Cuánto tiempo durará la sesión?:

$$t = \frac{mg \cdot v \cdot 96500}{P_m \cdot mA} = \frac{5 \cdot 1 \cdot 96500}{60,05 \cdot 6} = 1339,16 \text{ s} / 60 = 22,3 \text{ min}$$

Si se pone atención a la ficha de la figura 7-15, puede apreciarse que el tiempo está próximo a lo calculado en el ejemplo, pero también la intensidad es diferente. Los valores de voltaje y de resistencia no tienen influencia directa en cuanto a la técnica de iontoforesis salvo que el

valor de voltaje se ponga por debajo del voltaje de ionización de la molécula aplicada.

Esta ficha puede formar parte del cuadro de manejo de un equipo de electroterapia, pero si no se dispusiera de él, con lápiz, papel y una pequeña calculadora puede aplicarse esta metodología en cualquier electroestimulador clásico. Esta ficha (Fig. 7-15) puede estar, cuando menos, en forma de papel archivada en un fichero de uso personal, que debe aumentar con nuevos fármacos contrastados por uno mismo o por otros colegas.

Iontoforesis con lidocaína

La lidocaína es un anestésico local que, usado en iontoforesis para aplicación local bajo el electrodo, se convierte en un analgésico (y antiinflamatorio) eficaz en procesos de mialgias, tendinitis, bursitis, periostitis, lesiones tisulares, etc.

La experiencia indica que la dosificación de unos 10 mg introducidos son suficientes para

FICHA PARA IONTOFORESIS					A	
Fármaco	Peso molecular	Valencia	Polaridad	Formula		
Ácido acético	60,05	1	(-)	CH ₃ CO ₂		
Dosis fármaco		Disolución		Tiempo		
5 mg		2		21,3 minutos		
Corriente	Comp. Galva.	Tamaño Electrodo		T _{min} = $\frac{mg \cdot v \cdot 96500}{P_m \cdot I_{mA}} / 60$		
Galvánica	100%	42 cm ²				
Dosis en mA/cm ²	mA efic.	mA de pico		Voltaje	R en Ohm	
0,15	6,3	6,3		25	3968	
Efectos						
Decalcificador						
Observaciones						
La disolución al 5% irrita bastante la piel. Muy indicado en las calcificaciones del supraespinoso.						

Figura 7-15. Ficha con los datos básicos de un compuesto medicamentoso y con los parámetros técnicos necesarios para su aplicación terapéutica.

conseguir resultados muy eficaces entre tres y cinco sesiones.



Vídeo 7-4. Iontoforesis con lidocaína



Proceso de cálculo manual para iontoforesis con procaína

La ficha de la [figura 7-17](#) debe rellenarse a mano para aplicar procaína como anestésico local. Asimismo, procede realizar los cálculos a mano. Se sabe que la procaína tiene un peso molecular de 272,78, valencia de 1 y polaridad [-], y su fórmula es $C_{13}H_{21}ClN_2O_2$; se pretenden introducir 8 mg y la superficie de los electrodos es 60 cm^2 .

1	Se anota el fármaco	Procaína
2	Se anota el peso molecular	272,78
3	Valor de la valencia	1
4	Se anota la polaridad	[-]
5	Se escribe la fórmula	$C_{13}H_{21}ClN_2O_2$
6	Se anota la dosis de medicamento expresada en mg que se pretende introducir	8 mg
7	Se anota el porcentaje de disolución	10%
8	Tamaño de los electrodos para calcular la intensidad	60 cm^2
9	Corriente que se desea usar	Galvánica pura
10	Componente galvánico de la corriente	100%
11	Intensidad en mA que se ha calculado ($50 \text{ cm}^2 \cdot 0,15 \text{ mA/cm}^2 =$)	7,5 mA
12	mA eficaces o componente galvánico al 100 %	7,5 mA
13	mA de pico que lee el estimulador	7,5 mA
14	Se calcula el tiempo de sesión con los parámetros $t = \frac{8 \cdot 1 \cdot 96500}{272,78 \cdot 7,5} =$	377,3 s (6,2 min)

El vertido de una ampolla de 10 cm^3 sobre un paquete de gasas estériles que cubran una superficie entre 40 y 50 cm^2 , es suficiente para empapar perfectamente el conjunto y conseguir la conducción eléctrica perfecta, así como el objetivo del tratamiento pretendido. En la [figura 7-16](#) puede apreciarse el peso molecular de la lidocaína, su valencia, su polaridad (bajo el negativo) y el tiempo requerido para introducir unos 10 mg con dosis galvánica de $0,15 \text{ mA/cm}^2$.

La disolución es al 10 % y el electrodo activo tiene una superficie de 42 cm^2 . Según esto, puede concluirse que en 10,9 minutos se introducen 10 mg de lidocaína con las circunstancias presentes en la ficha.

Iontoforesis con histamina

La *histamina* y también la *acetilcolina* poseen un efecto de vasodilatación en los capilares (sobre todo, en su parte arterial) hasta el punto de llegar a establecer nuevos caminos circulatorios con facilidad. Sin embargo, tienen el inconveniente de ser muy activas y una dosis en exceso llegaría a producir un colapso circulatorio en el momento en que comenzara a actuar a nivel general, lo que causaría una vasodilatación periférica generalizada con su consiguiente bajada de presión sanguínea.

Así pues, la clave de una buena técnica para este tratamiento consiste en mantener el efecto local sin sobrepasar el umbral de los efectos generales.

La histamina, junto con sus derivados o equivalentes, proporciona una herramienta muy potente, pero muy difícil de manejar. Y dado el riesgo, es mejor que el fisioterapeuta poco entrenado en esta técnica se abstenga de aplicarla o que la lleve a cabo con la máxima prudencia.

Electrodos específicos para iontoforesis

En esta obra se sugiere sustituir las gamuzas de uso habitual para los electrodos estándar por un paquete de gasas estériles (para usar y

FICHA PARA IONTOFORESIS					L	
Fármaco	Peso molecular	Valencia	Polaridad	Formula		
Lidocaína	234,34	1	(-)	$C_{14}H_{22}N_2O$		
Dosis fármaco		Disolución		Tiempo		
10 mg		2,0%		10,9 minutos		
Corriente	Comp. Galva.	Tamaño Electrodo		$T_{min} = \frac{mg \cdot v \cdot 96500}{P_m \cdot I_{mA}} / 60$		
Galvánica	100%	42 cm ²				
Dosis en mA/cm ²	mA efic.	mA de pico		Voltaje	R en Ohm	
0,15	6,3	6,3		25	3968	
Efectos						
Decalcificador						
Observaciones						

Figura 7-16. Ficha con los datos básicos de la lidocaína y los parámetros técnicos necesarios para su aplicación terapéutica.

tirar) por su limpieza y disponibilidad, porque son de uso simple y son baratas. No hay que olvidar que requieren cuidados precisos a la hora de fijarlos (Figs. 7-13 y 7-14) para que el electrodo de goma conductora no se descoloque y, además, se estará obligado a medir casi siempre la superficie que cubren (Fig. 7-18).

Se han diseñado electrodos específicos para aplicar iontoforesis a fin de mantener el electrodo activo libre de contaminaciones y lograr que, a la vez, faciliten la metodología de tratamiento. Unos fabricantes los comercializan para uso de cualquier sustancia y otros los asocian con un compuesto medicamentoso con-

FICHA PARA IONTOFORESIS					3	4	5		
1	Fármaco	2	Peso molecular	3	Valencia	4	Polaridad	5	
6	Dosis fármaco	7	Disolución	14	Tiempo				
	mg				minutos				
9	Corriente	10	Comp. Galva.	8	Tamaño Electrodo	$T_{min} = \frac{mg \cdot v \cdot 96500}{P_m \cdot I_{mA}} / 60$			
					cm ²				
11	Dosis en mA/cm ²	12	mA efic.	13	mA de pico	Voltaje	R en Ohm		
Efectos									
Observaciones									

Figura 7-17. Ficha para rellenar de forma práctica.

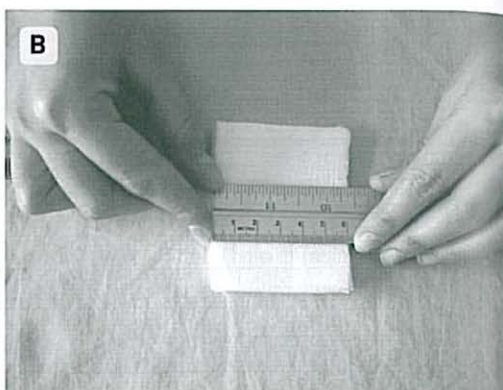
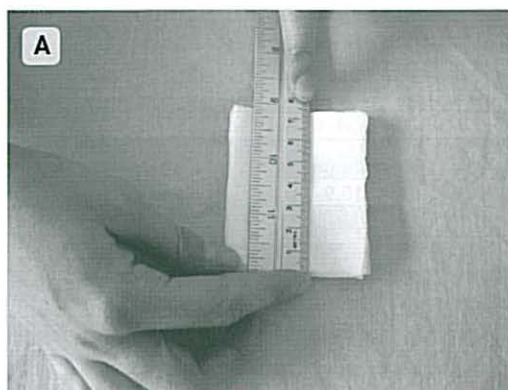


Figura 7-18. Se mide la anchura (A) por la longitud (B) para calcular la superficie de aplicación bajo el electrodo activo.

creto. Así puede observarse el de la [figura 7-19](#) que requiere introducir en la funda unas gasas estériles para usarlas en una única sesión.

También se cuenta con otros electrodos adhesivos (tanto el activo como el indiferente o masa) observables en la [figura 7-20](#). Son de uso único o «de usar y tirar». Este fabricante también comercializa el galvanizador con los terminales que permiten su conexión.

Otra sugerencia para uso único se compone de dos electrodos adhesivos unidos por un cable según se muestra en la [figura 7-21](#). Está basado en el paso de una corriente de muy baja intensidad (podría considerarse microgalvánica). Este sistema se mantiene durante 48-72 horas;

después de este tiempo se retira. Uno de los electrodos contiene un microcontrolador y su batería correspondiente para alimentar los dos electrodos. Sería interesante someterlo a examen para valorar el comportamiento eléctrico, sobre todo para comprobar si supera el voltaje de ionización.

Cambio de polaridad en iontoforesis

Debe eliminarse el cambio de polaridad a mitad de la sesión y esperar resultados al final de cada sesión. Si se duda o no se está seguro de la polaridad del medicamento, se propone que el primer día se intente con una polaridad, el

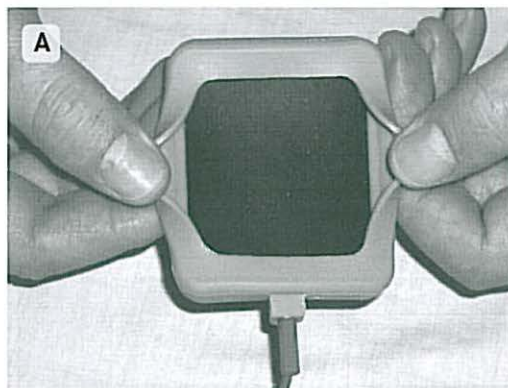


Figura 7-19. A) El electrodo conductor está envuelto por una funda no conductora que albergará las gasas. B) Se han encajado las gasas que admitirán la disolución.

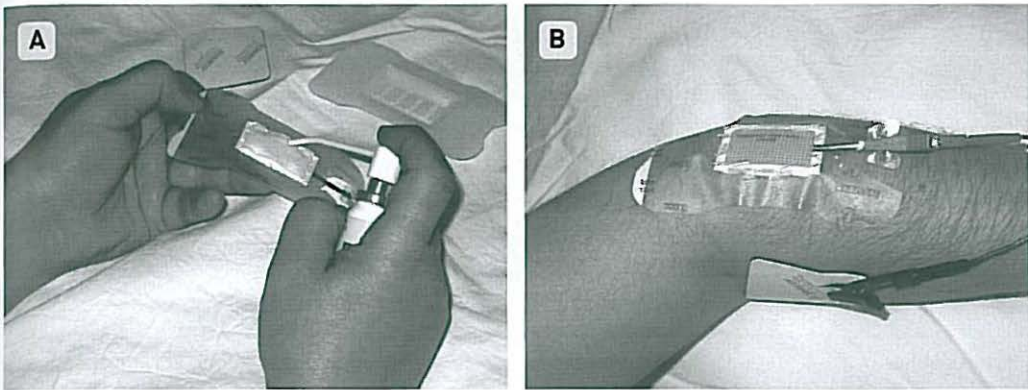


Figura 7-20. A) Se empapa la sustancia medicamentosa en la gasa del electrodo adhesivo. B) Conjunto de activo y masa que se aplican sobre una posible epicondilitis.

segundo con la contraria, el tercero como el primero y el cuarto como el segundo. De esta forma (al alternar la polaridad a diario), al cabo de dos o tres cambios se observará la mejor y se tomará una decisión por ella.

La razón para el cambio de polaridad a mitad de la sesión tiene su lógica. Los iones que no son rechazados antes del cambio se acercan al electrodo para reaccionar con él (sobre todo si éste es metálico), pierden su composición original de ion y se convierten en elemento neutro electrolizado. Estos iones, por lo general, pueden quedar inutilizados en la primera parte y en la segunda perderían su poder terapéutico (dependiendo de que sean liófilos o liófilos).

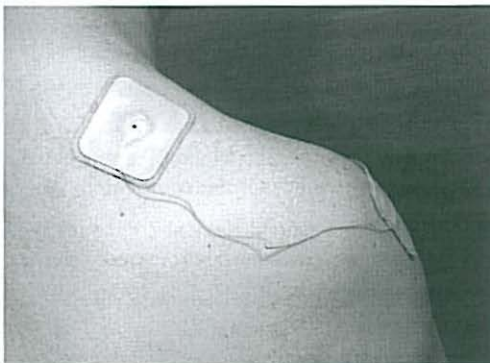


Figura 7-21. Dos electrodos adhesivos unidos por un cable. En uno se incluye el sistema de batería y control de aplicación en depósito lento.

Indicaciones de la iontoforesis

En fisioterapia, la técnica de iontoforesis se destinará, sobre todo, a las indicaciones más importantes que se enumeran: analgesia en zonas localizadas, como antiinflamatorio local, vasodilatador, vasoconstrictor, desestructurante de tejidos (sobre todo, de colágeno), relajante muscular, neurotrófico local, cicatricial, antiséptico y trombolítico.

Precauciones y contraindicaciones

La precaución fundamental, de modo reiterado, es evitar por todos los medios la quemadura galvánica, causada por exceso de intensidad en cada centímetro cuadrado.

Debe tenerse en cuenta lo siguiente:

- Estar seguro del modo de trabajo del estimulador, en corriente constante (CC) o en voltaje constante (VC).
- No guiarse por la sensación y apreciación subjetiva del paciente.
- Estar seguro de la polaridad de los electrodos.
- Comprobar que el sistema de medida de intensidad en mA sea real, esté bien calibrado y sea efectivo.

Tabla 7-3. Vademécum iontoforético

Fármaco	Polo	Efectos	Observaciones
Ácido acético	-	Dispersante de calcificaciones	$\text{CO}_3\text{Ca} + \text{CH}_3\text{COO} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COOCa} + \text{CO}_2 (\text{gas}) + 1/2\text{H}_2\text{O}$
Adrenalina	+	Vasoconstrictor	Es una amina con su carga [+]
Alfa-quimotripsina	+	Antiedematoso y antiinflamatorio	Es un glucosaminoglucano con su carga [+]
Arterocolina	+	Vasodilatador	Cloruro de colina, el radical colina tiene carga [+]
Betnesol	-	Modificador tegumentario	
Biclorhidrato de histamina	+	Vasodilatador	
Bromuro de potasio	-	Sedante	
Bromuro de sodio	-	Sedante	El radical (Br^-) produce la sedación
Butazolidina	-	Analgésico y antiinflamatorio	(Fenilbutazona)
Calcibromin	+	Miorrelajante	
Calcibronat	+	Miorrelajante	La elevación del nivel del ion Ca^{2+} conduce a un aumento del umbral de excitación nerviosa y celular en general. El efecto miorrelajante se le atribuye al Ca^{2+}
Celestone	-	Analgésico, antiinflamatorio y modificador tegumentario	
Citrato potásico	-	Antiinflamatorio, laxante salino y vasodilatador	Por ser una sal potásica, es [-]
Cloruro de adrenalina	+	Vasoconstrictor	V. Adrenalina
Cloruro de calcio	+	Miorrelajante, anticontracturante, facilitación cicatricial y fragilidad capilar	Usado en hipocalcemias por la acción de ion Ca^{2+}
Cloruro de sodio	-	Modificador tegumentario	En este caso, el ion Cl^- actúa como modificador de tegumentos
Cloruro de cinc	+	Cicatrizador y fijador de trombos	La acción se debe al Zn^{2+} como precipitador de proteínas
Coactín	-	Analgésico	Penicilina derivada del ácido aminopenicilánico
Complamina	-	Hemocinético, vasodilatador, trombolítico y revascularizante	

Tabla 7-3. Vademécum iontoforético (Cont.)

Fármaco	Polo	Efectos	Observaciones
Corbaina	+	Anestésico local	
Cocaína	+	Anestésico local	Por ser una base que contiene nitrógeno, es [+]
Chimoser	+	Analgesico, modificador tegumentario, trombolítico y antiedematoso	
Dihydergot	+	Vasodilatador	Dihidroergotamina, derivado amónico
Durcaine	+	Anestésico superficial	Como a todos los anestésicos locales, la positividad se la confiere el grupo NH+
Extracto de tiroides	+ o -	Resolutivo	Las hormonas tiroideas, como aminoácidos, se pueden comportar tanto en [+] como en [-] dependiendo del medio
Flaxedil	-	Miorrelajante	Trietoyoduro de gayamina; el efecto miorrelajante se debe al trietoyoduro y por ser un derivado del yodo (I-) es [-]
Flosint	-	Analgesico y antiinflamatorio	
Fosfato de epinefrina	+	Vasoconstrictor	Su acción vasoconstrictora se debe a la epinefrina (v. Adrenalina); al ser una amina, es [+]
Heparina	-	Trombolítico, reabsorción de hematomas y resvascularizante	
Hialuronidasa	- o +	Resolutivo	
Hialopán	+	Anestésico superficial	
Hidergina	+	Vasodilatador	
Hidrocortisona	-	Antiinflamatorio	La potencia antiinflamatoria del cortisol está asociada con la potencia relativa de retención de Na ⁺ ; así pues, el principio activo tendrá carga [-]
Indometacina	-	Analgesico, antiinflamatorio y antiúrico local	Es un derivado metilado del indol
Lamuran	+	Vasodilatador	
Liquenine	-	Trombolítico y resvascularizante	Es heparina sódica (v. Heparina)
Lisalgil	- o +	Analgesico y antiinflamatorio	

(Continúa)

Tabla 7-3. Vademécum iontoforético (Cont.)

Fármaco	Polo	Efectos	Observaciones
Merinax	-	Trombolítico, revascularizante y reabsorción de hematomas	
Nitrato de aconitina	+	Analgésico	
Nitrato de argenta	+	Antiinflamatorio	
Nitrato de plata	+	Antiséptico	
Norflex	+	Miorrelajante	Orfenadrina
Novemina	+	Analgésico y antiinflamatorio	
Novalgina	- o +	Analgésico y antiinflamatorio	
Novocaína	+	Anestésico superficial	Clorhidrato de procaína
Novoyodo, salicilato	-	Analgésico y antiinflamatorio	Salicilato de yodo
Nuperalina	+	Anestésico local	Nuperalina, dibucaína (v. anestésicos locales, como novocaína o cocaína)
Optidasa	-	Antiurético local	Derivados de la colchicina para el tratamiento de la gota
Oxiferriscorbone	-	Facilitador cicatricial, analgésico, antiinflamatorio y antiedematoso	
Paranoval	-	Miorrelajante	
Percutalin por	- o +	Analgésico y antiinflamatorio	Este medicamento está formado tres componentes
Procaidón	+	Anestésico superficial	V. procaína o novocaína
Salicilato de litio	+ o -	Antiartrítico	
Salicilato de sosa	-	Descongestionante y analgésico	
Socianato de prednisolona	-	Antiinflamatorio	La prednisolona es un adrenocorticosteroide derivado del cortisol (v. Hidrocortisona)
Sulfato de cobre	+	Antiséptico y fungicida	Acción debida al ion Cu^{2+}
Sulfato de magnesio	+	Miorrelajantes, cicatricial y fragilidad capilar	Acción debida al ion Mg^{2+}
Sulfato de quinina	+	Neurotrófico	
Thyomucase	-	Modificador tegumentario y antiedematoso	V. Hialuronidasa
Tubarine	+	Miorrelajante	

Tabla 7-3. Vademécum iontoforético (Cont.)

Fármaco	Polo	Efectos	Observaciones
Uroquinasa	+	Trombolítico y reabsorción de hematomas	Enzima proteolítica
Veneno de abeja	+	Antiálgico y antirreumático	
Venofortán	+	Fibrinolítico	
Vincapán	+	Vasodilatador	
Vitamina B ₁	+	Modificador tegumentario	
Yoduro de potasio	-	Facilitador cicatricial y fragilidad capilar	Los yoduros son [-] por su ion I ⁻
Xilocaina	+	Anestésico superficial	

- Evitar que se contrapongan el efecto galvánico al del medicamento.
- Si se utilizan corrientes distintas de la galvánica, calcular previamente su componente galvánico para evitar posibles quemaduras.
- No aplicar los electrodos sobre piel alterada, con heridas o ulcerada (salvo indicación precisa).
- Evitar que el campo eléctrico invada la zona cardíaca o importantes centros nerviosos.
- No aplicar sobre procesos tumorales o cerca de ellos.
- Alejarse de las glándulas secretoras de hormonas.
- No aplicar sobre osteosíntesis metálicas, endoprótesis metálicas o sus proximidades.
- No aplicar sobre tromboflebitis o varices floridas (salvo indicación concreta).
- No aplicar sobre procesos infecciosos locales.
- No aplicar cuando se sospechan reacciones de rechazo a osteosíntesis cercanas.
- Es necesario conocer la resistencia y la diferencia de potencial entre electrodos y paciente.
- Debe averiguarse la conductividad o resistencia del preparado medicamentoso.
- Tener en cuenta otras circunstancias que son comunes a la galvanización sin iontoforesis de medicamentos (Tabla 7-3).



Autoevaluación

Material complementario en el sitio web

- Autoevaluación
- Ficha de iontoforesis
- Vídeos:
 - 2-8. Intensidad eficaz
 - 2-9. Intensidad eficaz al 50
 - 7-1. Medida del pH
 - 7-2. Medida de resistencia
 - 7-3. Dosis en mA por minuto
 - 7-4. Iontoforesis con lidocaína





8

Electroanalgesia de baja frecuencia

Contenido

- Conceptos sobre electroanalgesia y los diferentes tipos de dolor
- Clasificación de los diferentes tipos de dolor que pueden encontrarse en fisioterapia
- Distintas metodologías de analgesia centradas en baja y media frecuencia
- Técnicas de estimulación nerviosa sensitiva y motora

Objetivos de aprendizaje

- Aprender que el tema del dolor es complejo y saber resumirlo en sus tres variantes fundamentales.
- Aprender a explorar para entender ante qué tipo de manifestación dolorosa se encuentra, saber diseñar una estrategia de tratamiento y comprobar resultados.
- Dominar las diferentes técnicas de electroterapia (centradas en baja frecuencia y media frecuencia) para alcanzar los objetivos de electroanalgesia.
- Aprender el dominio de la dosificación correcta en algunas corrientes con riesgo de agresión al paciente.
- Practicar algunas técnicas de aplicación manual por su interés y su potencia como terapias analgésicas.

Síntesis conceptual

- ✓ En este capítulo se aborda un enfoque experimentado de la electroterapia con baja y media frecuencia. Dada la complejidad de este tema, se trata de resumir el dolor en tres orientaciones fundamentales. El dolor es más importante por sus orígenes que por su intensidad.
- ✓ La metodología que se propone está basada en la exploración previa del paciente y en encontrar una respuesta al tipo de dolor, así como las técnicas correctas para alcanzar los objetivos propuestos.
- ✓ Se insiste en la correcta dosificación de algunas corrientes con riesgos y en sus cuidados a la hora de aplicarlas.
- ✓ Asimismo, se profundiza en el TENS y en el EMS, aunque se consideran englobadas en las técnicas de estimulación nerviosa sensitiva y motora (TENSM).

TÉCNICAS DE ESTIMULACIÓN NERVIOSA SENSITIVA Y MOTORA PARA ANALGESIA

Además de los efectos antiálgicos del galvanismo, en electroterapia se dispone de una amplia gama de corrientes diseñadas para atacar el dolor en su causa, en su origen o en su trayectoria, bien cuando se excitan las distintas terminaciones nerviosas o cuando se conduce por sus vías específicas o sensitivas hacia el sistema nervioso central.

Hasta este capítulo se ha estado tratando la corriente galvánica, caracterizada por ser de flujo y corriente mantenidos, sin variaciones, sin cambios de polaridad y sin oscilaciones. A partir de este capítulo comienza a abordarse una gama de corrientes caracterizadas por flujo interrumpido, sin cambios de polaridad o con ellos, que crea formas variables con los impulsos y reposos entre impulsos, los cuales se analizarán más adelante.

Asimismo, se planteará una serie de técnicas que superan con mucho las pocas posibilidades de tratamiento que aporta un TENS. Por lo tanto, no debe confundirse el concepto que integra todo un conjunto de técnicas de estimulación nerviosa sensitiva y motora (TENSMT) con el aparato portátil denominado TENS, que puede ser interesante sólo en algún tipo de dolor.

Dolores

El dolor es una apreciación subjetiva del paciente que lo percibe con mayor o menor intensidad hasta el punto de generarle incapacidad funcional e, incluso, pérdida de conciencia.

Para el paciente, la valoración cuantitativa es fundamental, pero para el profesional que debe tratarlo es más importante su localización, la causa del dolor, el órgano que lo genera, la función que lo genera, la respuesta de defensa sobre el paciente, la reacción antiálgica típica y, por último, su intensidad. Por lo

tanto, al explorar se aprenderá que no hay dolor sino que existen varios tipos de dolores. En lugar de referirse al dolor, hay que extender la expresión a **dolores**. En la figura 8-1 A se representa una escala subjetiva para valorar la intensidad dolorosa, cruzada con una tachadura, para manifestar que lo importante no es la cantidad del dolor, sino la calidad y los matices que envuelven a los diferentes dolores.

Los dolores se originan de forma básica por estímulos diversos:

- calor intenso,
- presión excesiva,
- deformación exagerada de tejidos,
- destrucción tisular,
- agresión química,
- alteraciones metabólicas de la zona,
- descarga eléctrica, etc.

sobre las distintas y variadas terminaciones nerviosas (no precisamente nociceptores), si dichos estímulos superan y saturan ampliamente el umbral sensitivo.

Si se pretende aliviar dolores, de forma previa se debe aprender a explorarlos, localizarlos,

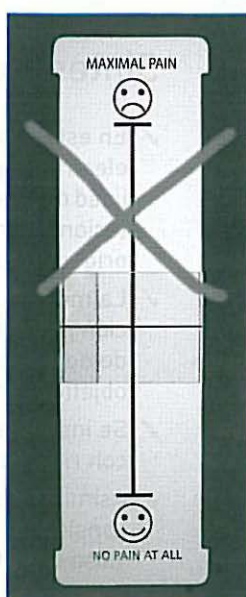


Figura 8-1 A. Escala subjetiva para valorar la intensidad dolorosa.



Figura 8-1 B. Esquema básico de actuación ante cualquier dolor y paciente.

escucharlos, entenderlos, interpretarlos y saber su origen para utilizarlos como herramienta que lleve a conclusiones de lo que está ocurriendo en el interior del organismo y así establecer las adecuadas y mejores estrategias de tratamiento (Fig. 8-1 B). Por ello es fundamental protocolizar la actuación en cuatro pasos fundamentales:

1. Explorar al paciente.
2. Concluir la causa del dolor.
3. Diseñar la estrategia de tratamiento.
4. Comprobar los resultados al final de la sesión.

1. Explorar al paciente. Explorar no implica diagnosticar, sino localizar con precisión el punto y la estructura anatómica que genera el dolor. Una gonalgia es un ente tan difuso para un fisioterapeuta que no indica nada. Sin embargo, un dolor en el tendón rotuliano, en el ligamento lateral interno o en el externo, en determinado menisco o en determinado punto de las estructuras condrales, o tal vez en un punto de inserción tendinosa son lugares concretos donde, al menos, puede localizarse y fijarse uno de los electrodos.

2. Concluir la causa del dolor. Alcanzar una conclusión cierta sobre la causa del dolor es fundamental para el éxito de la terapia. Una exploración palpatoria y funcional de la zona indicará el origen del problema de forma precisa.

3. Diseñar la estrategia de tratamiento. Si se planifica una estrategia del tratamiento según las características del problema y las posibilidades técnicas disponibles, el resultado positivo está garantizado. Quizá se le ocurran varias estrategias al fisioterapeuta y habrá que alternarlas o tantearlas. Si los resultados no son los pretendidos, en general el error se encontrará en la estrategia de tratamiento.

4. Comprobar los resultados al final de la sesión. El interrogatorio posterior e inmediato a la sesión, así como al día siguiente, reafirmará al terapeuta en la estrategia de tratamiento o si tendrá que adaptarse o modificarse a los resultados. La respuesta terapéutica a la electroanalgesia será inmediata en la primera sesión si fue adecuada.

En ciertos ambientes y colectivos sanitarios está extendida la idea de que la electroanalgesia usada en fisioterapia es inefectiva (o muy poco efectiva). Su eficacia se reservaría para las aplicaciones procedentes de los «departamentos del dolor» y clínicas del dolor. Con todo, cuando se dominan las técnicas, se conocen bien las posibilidades de las diferentes corrientes y se entienden las causas del dolor que debe tratarse, los resultados son muy interesantes.

En realidad, la electroanalgesia es compleja y requiere entender bien los mecanismos de los dolores y sus orígenes. Además, muchas de las teorías y sugerencias sobre técnicas de analgesia se han mostrado insuficientes, cuando no erróneas.

La electroanalgesia no sólo debe pretender aplicar terapias paliativas del síntoma, sino que en lo posible se aplicarán técnicas correctoras y reparadoras de los procesos que causan el síntoma.

Desde que en 1965 Ronald Melzack y Patrick Wall (el primero, psicólogo canadiense, y el segundo, fisiólogo inglés) publicaron su teoría sobre el mecanismo de dolor basado en la teoría de «control de la puerta» y sus mecanismos neurobiológicos, se ha especulado demasiado sobre métodos de electroanalgesia. Se creó un «discurso de moda» que se aplicó a cualquier técnica novedosa con su correspondiente vertiente comercial.

Uno de los vicios que provocó esta teoría sobre la fisioterapia consiste en considerar que la electroanalgesia se basa únicamente en el «aparato de TENS». Nada más lejos de la realidad, dado que el arsenal de técnicas de electroterapia es mucho más amplio y rico que la pequeña herramienta que es el aparato de TENS.

La experiencia y la práctica cotidiana demuestran que dicha teoría no es tan infalible, que hay otros mecanismos de analgesia diferentes, que hay que revisar el concepto de nociceptores y todavía quedan muchos flancos por vencer en la batalla contra el dolor, mejor, contra los dolores.

Se continúa sometido a publicaciones que divagan sobre descubrimientos de la bioquímica y de la neurofisiología del sistema nervioso en cuanto al dolor. Todo ello está muy bien, pero el fisioterapeuta se encuentra frente a un paciente que se queja y pide alivio, por lo cual tiene que ingeniárselas para resolver el problema con su conocimiento y sus herramientas de trabajo cotidiano. Por ello, en fisioterapia hay que descender a pie de paciente, de la técnica, de la exploración, de la comprensión del síntoma y sus orígenes y, sobre todo, dominar las diferentes técnicas que se ofrecen.

En la actualidad, las posibilidades que aporta un buen equipo de electroterapia de baja y media frecuencia, la ultrasonoterapia, la termoterapia, la magnetoterapia, la laserterapia y —muy importante— las terapias manuales combinadas con electroterapia ofrecen un arsenal que, bien manejado en manos de un fisioterapeuta experto, permitirán conseguir excelentes resultados en sólo una sesión.

La técnica de galvanopalpación enseña mucho sobre los dolores y sus mecanismos (v. «Galvanopalpación», en el cap. 6). Con este sistema exploratorio es posible hallar sobre el paciente diferentes zonas dolorosas y cada una con su matiz. Por ejemplo, si se pasa sobre un grano, el dolor es punzante y superficial; si se estimula una raíz nerviosa desmielinizada, se desencadena una respuesta irradiada siguiendo la metámera correspondiente, y si se estimula una zona con un proceso inflamatorio, el dolor es profundo, local y lancinante. Asimismo, cuando se estimula eléctricamente un punto gatillo, pueden observarse diferentes respuestas dolorosas que hay que aprender a interpretar, interrogando de manera adecuada al paciente para conseguir la información con suficiente precisión.



Vídeo 8-1. Galvanopalpación

Ante la complejidad de este síntoma, se propone un enfoque que pasa a describirse a continuación.

Clasificación de los dolores

Existen variados tipos de dolor, que pueden clasificarse según:

- A. La percepción subjetiva del paciente.
- B. La causa o estímulo que origina el dolor.
- C. La respuesta que desencadena en el paciente.
- D. La forma en que se trata el dolor.

Percepción subjetiva

No se entrará demasiado en detalles, pero hay que detenerse a analizar, aunque sea de manera somera, algunos puntos. Las sensaciones de dolor más llamativas pueden ser: agudo, sordo, visceral, punzante, lancinante, profundo, en cinturón, superficial, opresivo, local, extenso, irradiado, referido, dolor fantasma (del miembro amputado) taladrante, con latidos dolorosos, dolores errantes, etc. Éstas son algunas de las típicas expresiones de los pacientes.

El dolor es un síntoma generado por la mayoría de las patologías; este dolor, los fisioterapeutas tienen que tratar de eliminarlo o aliviarlo con los medios y herramientas que se hallan a su alcance.

A causa de las dudas que persisten sobre el dolor, están floreciendo una serie de medicinas paralelas a la medicina «oficial», debido a que el propio paciente acude a diversas alternativas con el fin de que alguien le alivie «de ese síntoma» que le agobia y le impide vivir dentro de la normalidad, y frente al cual los profesionales, con cierta frecuencia y ligereza, tienden a ocultar su impotencia e ignorancia, y lo atribuyen a causas psicógenas del paciente.

Los terapeutas que deciden qué técnica aplicar para reducir o eliminar el dolor del paciente tienen la obligación de realizar un esfuerzo de comprensión y de perfeccionamiento de dichas técnicas.

Probablemente, un gran grupo de dolores tiene mucho que ver con la fisiología del sistema nervioso vegetativo o «sistema nervioso de la supervivencia», pero ante estas variantes los fisioterapeutas todavía están más perdidos.

Causas del dolor

Las causas generadoras pueden ser múltiples e, incluso, «en apariencia inexplicables» en tanto no se conozca más acerca de la fisiología y la fisiopatología del sistema nervioso. Algunas de ellas pueden ser:

- Estimulación exagerada de las terminaciones nerviosas de relación (sensación de presión, propioceptivas, de calor, de sensibilidad superficial, auditivas o visuales).
- Destrozo o rotura de los nervios y sus terminaciones.
- Irritaciones químicas de las terminaciones nerviosas.
- Compresión mecánica o alteración metabólica de los nervios.
- Causas psicósomáticas.
- Dolores reflejos, referidos y metaméricos, etcétera.

Ejemplo. Supóngase una braquialgia provocada por un pinzamiento de los ramos nerviosos en los agujeros de conjunción en el cuello con su correspondiente dolor irradiado al brazo, comparado con una tendinitis del supraespinoso y su dolor referido por el brazo. Los síntomas son diferentes, las explicaciones del paciente son distintas, la localización no coincide, los momentos de dolor tampoco coinciden, el mecanismo que los provoca es diferente, la maniobra que los alivia no es la misma, etcétera.

Respuestas al dolor

Tal vez, cada persona sienta un grado diferente de molestia ante el mismo estímulo doloroso y manifieste como respuesta más inmediata malestar, actitudes posturales de defensa o inmovilizadoras, descargas hormonales, despertar del sueño, activación del sistema nervioso simpático, tensión emocional, contracciones musculares que desencadenarán otras alteraciones (zonas de isquemia, acortamientos de tejidos, limitación de la movilidad articular, pérdida de fuerza muscular, fibrosis musculares, edema muscular en la zona con acumulación de catabolitos, zonas de nuevos dolores a distancia del original, alteraciones de la biomecánica corporal y, en fin, pueden ser causa de alteraciones a medio y largo plazo sobre el organismo y la psique, fáciles de prever o, tal vez, insospechadas).

Los fisioterapeutas con cierta experiencia conocen casos de pacientes, por ejemplo, que con una simple artrosis del carpo pueden presentar una algodistrofia o un síndrome de hombro-mano, en tanto que otros con fracturas conminutas del extremo distal del radio y el carpo no sienten dolor ni alteraciones neurovegetativas, circunstancias que plantean dudas como las diferencias que existen entre ambos.

Forma de tratar los dolores

Debe considerarse, como se ha descrito con anterioridad, que no existe un único dolor; hay que pensar y planificar estrategias analgésicas

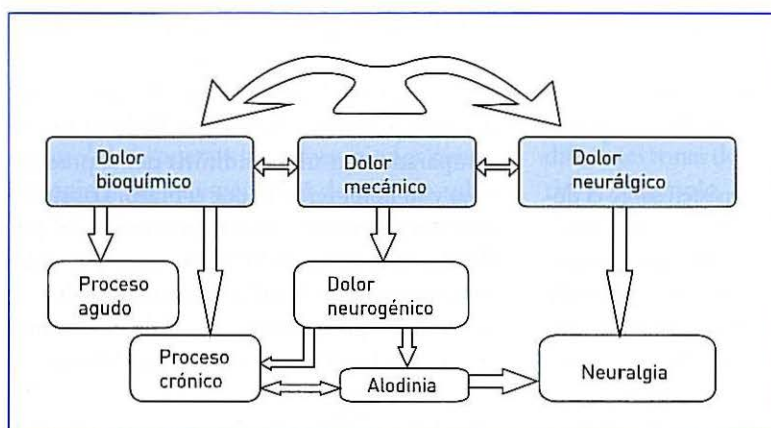


Figura 8-2. Esquema básico propuesto de los tres enfoques del dolor, que se hallará, por lo general, en los procesos musculoesqueléticos en los pacientes.

tras apoyarse, al menos, en tres tipos de dolores que pueden afectar al sistema musculoesquelético (sin entrar en los dolores psicósomáticos ni viscerales). Los dolores factibles de aliviar con electroterapia de corrientes variables proceden de orígenes distintos, pueden ser:

1. de origen bioquímico,
2. de origen mecánico y
3. de origen neurálgico.

Cualquier síntoma de dolor debe ser explorado previamente con pruebas biomecánicas, aspecto visual, interrogatorio y palpación para detectar temperatura, morfología y respuestas a la deformación de tejidos; exploraciones dirigidas a concluir y decidir el grupo al cual pertenece y, en consecuencia, establecer la estrategia más adecuada para intentar eliminarlo (Fig. 8-2).

Dolores de origen bioquímico

Son dolores procedentes de alteraciones metabólicas y electroquímicas locales por causa de inflamación aguda, desgarros tisulares y sus derrames, roturas vasculares y procesos isquémicos, es decir, la bioquímica provoca que las terminaciones nerviosas de la zona afectada—tanto exteroceptores, quimiorreceptores o mecanorreceptores— sean atacadas por exceso de sustancias de desecho, no habituales y, por lo tanto, destinadas a ser eliminadas.

En la exploración son dolores localizados en los distintos planos tisulares y suelen manifestarse al deformar el tejido afectado mediante palpación, por hiperactividad metabólica o por estrés del tejido. El aspecto visual suele estar acompañado por enrojecimiento. Con el tacto se detecta irradiación de calor si la inflamación es aguda o empastamiento e induración cuando el proceso es crónico.

Por lo general, esta clase de dolores, de origen bioquímico, se superpone al dolor de origen mecánico y de origen neurógeno si se localiza en tejidos relacionados de forma directa con el aparato locomotor: tendones, fascias, tejido muscular, inserciones osteotendinosas, cápsulas articulares e, incluso, cartílagos. Las causas mecánicas y neurálgicas pueden desencadenar u originar de forma lenta esta modalidad de dolor bioquímico. La alteración bioquímica crónica puede conducir a estados de alodinia.

Los métodos más adecuados para eliminarlos con las técnicas de *estimulación nerviosa transcutánea* se refieren a: cambiar la bioquímica de la zona mediante corrientes que conserven el efecto electroforético y de polaridad eléctrica (efecto galvánico), buscando la frecuencia y la anchura de impulso adecuadas al porcentaje galvánico deseado, junto con la mayor intensidad posible sin superar el umbral motor. El electrodo activo estará situado directamente sobre el foco doloroso. En cuanto a la polaridad del electrodo correcta,

en general es más adecuada la del [-] para procesos crónicos y la del [+] en los agudos. Bajo el electrodo se puede aplicar algún medicamento antiinflamatorio o analgésico, con radicales activos de la misma polaridad que el electrodo a modo de iontoforesis.

Dolores de origen mecánico

Los párrafos anteriores ya introducen los conceptos que aproximan a los orígenes de este tipo de dolores de forma que:

- cuando un tejido se halla sometido a compresión excesiva (p. ej., un cartílago),
- cuando es sometido a exceso de elongación mantenida (p. ej., un tendón o su inserción) y
- cuando es aplastado de forma persistente (p. ej., un paquete vasculonervioso por contractura duradera de los músculos que lo rodean).

Llegará un momento en que los mecanorreceptores informarán de agresión en lugar de propiocepción normal, la cual, por el momento, no es de dolor, pero desencadenará respuestas neurovegetativas de inflamación moderada, proliferación de macrófagos y fibrina y, como consecuencia, terminará por aparecer una red de tejido conjuntivo que engloba la zona, la atrapa, la constriñe e impide el buen riego circulatorio (*estado de alodinia*).

En la exploración visual no se aprecian signos que indiquen el síntoma de dolor. Palpando puede detectarse cierta irradiación de calor y los tejidos suelen aparecer engrosados, indurados y, más o menos, edematosos. La zona duele con la deformación y al someterla a tensiones estresantes, aunque con el reposo el dolor disminuye o desaparece.

Dependiendo de su localización deberán realizarse pruebas funcionales y biomecánicas muy específicas que sometan a estrés precisamente a la zona deseada o deberá accederse mediante la palpación precisa a las mismas zonas para su deformación o compresión buscando la posible respuesta alodínica o de dolorimiento.

Es de vital importancia discriminar por palpación si el dolor de tejidos relacionados con el sistema motor se debe a puros procesos degenerativos inflamatorios, edema y fibrosis, o se encuentran soluciones de continuidad en los tejidos por desgarros, roturas, arrancamientos o calcificaciones. En estas situaciones se pensará en alteraciones morfológicas de éstos y, por ende, en un cambio radical de la estrategia antiálgica.

Cuando se palpan tendones doloridos, indurados, inserciones osteotendinosas dolorosas, expansiones aponeuróticas tenocapsulares dolorosas, cartílagos articulares dolorosos a la presión, etc., si se siguen los trayectos tendinosos hacia el cuerpo muscular, se encontrará con músculos contracturados y dolorosos por hipertensión mecánica. Cuando se relaje el músculo, se reducirán los síntomas que éste genera a distancia.

En definitiva, frente a una inflamación crónica con edema, proliferación de colágeno e insuficiencia muscular, las terminaciones nerviosas se manifiestan hipersensibles a la deformación de los tejidos. Cuando los mecanorreceptores transmiten dolor en lugar de propiocepción, se está hablando de dolor mecánico.

El dolor mecánico y el bioquímico, como se describe con anterioridad, se superponen, pues una condición suele conducir a la otra, aunque las causas sean distintas. Puesto que los orígenes de estos dolores en general son evolutivos y están causados por procesos degenerativos lentos, los mejores métodos para su eliminación se obtendrán por medio de una respuesta motora en lugar de respuestas sensitivas o electroquímicas.

Pueden planificarse distintas estrategias (mediante respuestas motoras) según la localización del dolor, si existe contraindicación por la alteración morfológica de los tejidos (roturas), si las movilizaciones locales aumentan compresiones radicales que conducen a la agravación del problema, porque no se eliminan contracturas de defensa antiálgicas, etc. Salvo estas (y alguna otra) precauciones lógicas, se planificarían vibraciones musculares y

trenes de muy corta duración (1 s de tren y 1 s de pausa) que busquen relajación y liberación de las contracturas musculares y movilización de los tejidos periarticulares que:

- renovar el trofismo articular (al movilizar el líquido sinovial),
- masajear los tejidos articulares por deformación de éstos (al elastificar las cápsulas y las membranas sinoviales),
- aplicarán presiones alternativas sobre los cartílagos articulares (al bombear y mejorar su nutrición),
- provocarán estímulos propioceptivos sobre los mecanorreceptores articulares y tendinosos (que conducirán a la analgesia de otros dolores),

- provocarán relajación muscular sobre músculos contracturados (al aliviar de dolores miotensivos),
- producirán movilización articular y tisular que libera troncos y paquetes vasculonerviosos (al liberar los agujeros de conjunción en la columna), etcétera.

La teoría de inhibición del dolor al activar determinados mecanorreceptores periarticulares es muy interesante y eficaz, pues de los cuatro niveles de mecanorreceptores, cuando se estimula, al menos, a dos de ellos, éstos provocan inhibición en la conducción del dolor en formaciones reticulares medulares o, lo que es igual, provocan la aparición de neurotransmisores que activan determinados circuitos de información e inhiben o

Tabla 8-1. Clasificación de las terminaciones propioceptivas

Tipos	I	II	III	IV
Forma	Globular, ligeramente encapsulados, de 100 a 40 μm . Grupos de 3 a 8	Cónicos, con cápsula gruesa, de 300 a 100 μm . Aislados o en grupos de 2 a 3	Fusiformes, de 600 a 100 μm . Normalmente se hallan aislados	Forma arracimada, con pequeñas puntas no mielinizadas
Localización	En la superficie de las cápsulas fibrosas	En la profundidad de las cápsulas fibrosas y en las bolsas de almohadillado articular	Ligamentos y tendones relacionados con las cápsulas	En el grosor de las cápsulas, paredes vasculares, articulaciones y serosas articulares
Tipo de propioceptores	Mecanorreceptores estáticos y dinámicos, de baja sensibilidad y acomodación lenta	Mecanorreceptores dinámicos, de baja sensibilidad y de adaptación rápida	Mecanorreceptores de alta sensibilidad y adaptación muy lenta	Nociceptores de alta sensibilidad que no tienen acomodación
Función	• Efectos tónicos reflejados en la musculatura adyacente • Propriocepción postural y cinética • <i>Suprimen el dolor de los nociceptores</i>	• Respuestas fásicas motoras en la musculatura adyacente y contralateral • <i>Suprimen el dolor de los nociceptores de forma temporal</i>	• Parece que tienen mucho que ver con la función de los órganos de Golgi en la detección de la tensión muscular y tendinosa	• Efectos tónicos y reflejos sobre la musculatura adyacente • Evocan el dolor • Efectos reflejos desencadenados a distancia del punto generador
Cubierta mielínica	Poca mielinización: de 6 a 9 μm	Media mielinización: de 9 a 12 μm	Buena mielinización: de 13 a 17 μm	Muy poca mielinización: de 1 a 5 μm o sin mielina

eliminan otros (Tabla 8-1). Por ello, la actividad motora y de movilidad articular conduce a alivios dolorosos, pero siempre que existan alteraciones morfológicas de los tejidos, todavía con riesgo de recidiva, como en fracturas, esguinces, desgarros musculares, desinserciones, etcétera.

Dolores de origen neurálgico

Cuando una raíz nerviosa se daña, se pinza o se desmieliniza en su trayectoria, refleja en la zona de inervación hormigueos, adormecimiento, dolor e *insuficiencia neurovegetativa, sensitiva y motora*.

Si esta situación afecta, sobre todo al sistema neurovegetativo (inervación del simpático o secundaria), desencadenará dolores metabólicos o bioquímicos propios del grupo anterior (las alodinas y algodistrofias simpático-reflejas). Sin embargo, el síntoma más llamativo, a primera vista, es el dolor referido, con trayectoria de referido, localización profunda, no se palpa, se manifiesta tanto en la actividad como en el reposo, se acentúa en determinadas posturas y se alivia en otras. En la exploración, se pondrán más de manifiesto los síntomas propios del neurovegetativo sobre los de irradiación de la raíz primaria.

El dolor neurálgico agudo (de aparición brusca e intenso) puede provocar impotencias musculares de defensa o importantes contracturas de defensa (p. ej., una ciática o cualquier pinzamiento de raíz nerviosa). Si en estos procesos se intenta relajar las contracturas o aumentar el tono en las hipotonías, se agrava el dolor al mover al paciente después de la sesión. En las contracturas o hipotonías crónicas, el ejercicio, la actividad articular y muscular contribuyen a aliviar los dolores causados por irradiación radicular.

Si se toma como ejemplo una ciática, la estrategia indicada frente a las neuralgias puede cifrarse en:

- Corrientes que provoquen un importante estímulo sensitivo sobre el trayecto nervioso afectado a fin de conseguir acomodación

sensitiva o anulación de su actividad como transmisor de dolor.

- Se emplean, en este caso, las corrientes de media frecuencia (interferenciales) y aplicaciones de alto voltaje con frecuencia fija o modulaciones de frecuencia (TENS).

Los procesos de pinzamientos nerviosos, desmielinizaciones axónicas o atrapamiento de raíces cuando los paquetes vasculonerviosos transcurren a través de tejidos indurados, fibróticos y edematosos, terminan por provocar alteraciones neurológicas en músculos inervados por dicho paquete e influyen en la inervación neurovegetativa deficiente, en el tono muscular, en la atrofia muscular, en el bombeo de líquidos intramusculares, en alteraciones posturales, en contracturas compensadoras de otros músculos, etcétera.

Todo ello desencadena que los mecanorreceptores localizados en los husos neuromusculares, en fascias, aponeurosis, tendones y cápsulas articulares se encuentren tan hiperexcitados que transmiten dolor en lugar de propiocepción. Si se analiza la figura 8-2, puede intuirse que un tipo de dolor conduce y genera los otros dos. Con todo, a la hora de explorar, debe delimitarse qué parte o porcentaje le corresponde a cada uno.

Muchos dolores de origen neurálgico y crónico (alodinia) están causados por alteraciones mecánicas o biomecánicas (que se superponen con el dolor bioquímico).

Si mediante la exploración los fisioterapeutas son capaces de discernir y diferenciar bien las distintas causas y orígenes, llegarán a conclusiones correctas, de manera que si se dominan las técnicas que alivian cada variante los resultados serán muy positivos.

CONDUCCIÓN DEL DOLOR: SISTEMA AFERENTE O SENSITIVO

El organismo, a través de su sistema nervioso central, recibe información del exterior y

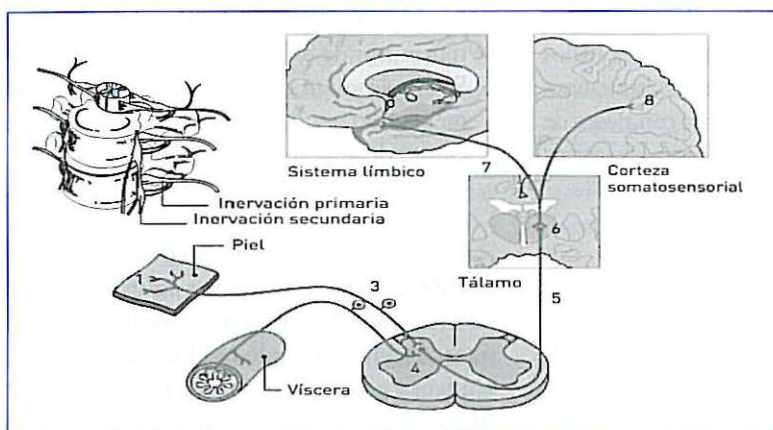


Figura 8-3. Esquema básico de captación, transmisión y percepción del dolor.

de sí mismo mediante una amplia red de nervios periféricos sensitivos: del sistema voluntario, del sistema autónomo y, tal vez, mediante sistemas de interconexión electroquímica poco conocidos (meridianos de acupuntura).

La estructura básica fundamental de transmisión hasta la corteza se basa en los siguientes órganos fundamentales (Fig. 8-3):

- *Terminación nerviosa o detector* de los estímulos que los convierte en impulsos nerviosos.
- *Sinapsis de unión* con la fibra de transmisión.
- *Fibra de transmisión* del impulso desde el detector hasta la médula por el asta posterior. Las fibras procedentes del sistema vegetativo o visceral, antes de entrar en el asta posterior, hacen un alto en los ganglios paravertebrales o previsceral, en donde desencadenan impulsos eferentes, los cuales provocarán respuestas inflamatorias y contracturas musculares estriadas y de vasos sanguíneos y linfáticos (inervación secundaria del simpático).
- La fibra que aborda la médula llega a la *formación reticular medular*, punto de intersección y sinapsis de otras aferencias y eferencias, como pueden ser la generación de impulsos destinados a los reflejos o la coordinación muscular refleja del mismo lado o del lado contralateral. En la formación reticular medular o espinal supuestamente se

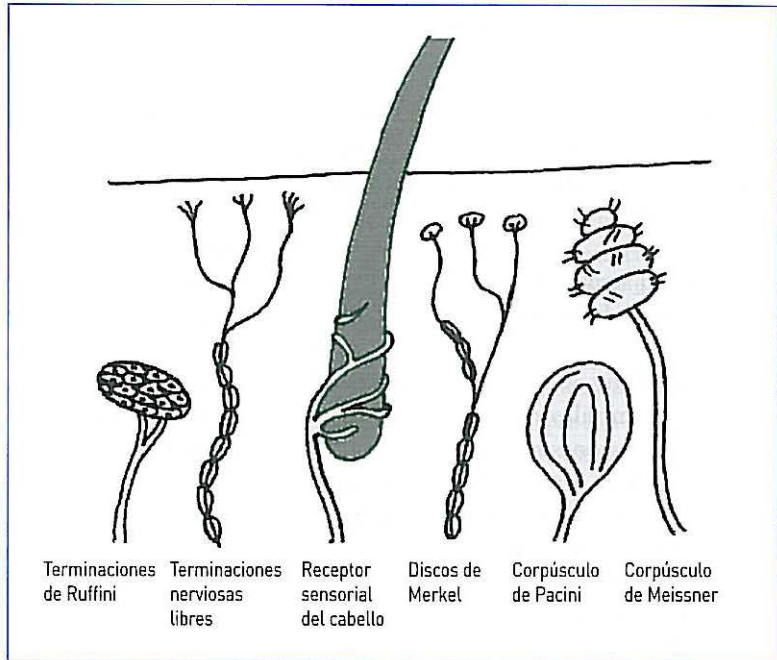
producirá el efecto de *gate control* sobre el dolor, que más adelante se describirá.

- *Vías espinotalámicas*, es decir, las fibras nerviosas que unen los filtros medulares o formaciones reticulares medulares con el tálamo, corteza, cerebelo y los centros nerviosos del tronco cerebral, también llamada «formación reticular del tronco cerebral».
- *Formación reticular del tronco cerebral*, formada por el complejo de núcleos, en los cuales se filtran y se modulan los impulsos sensoriales que allí llegan para ser anulados, reconducidos, desviados, filtrados, desencadenar impulsos motores, respuestas hormonales, respuestas psicósomáticas, inhibición de la coordinación cerebelosa, etc. En esta formación reticular se da mucha importancia a las activaciones o inhibiciones de tipo químico (hormonas y endorfinas).
- *Fibras de unión* entre los centros del tronco y la corteza cerebral.
- *Corteza cerebral sensitiva* (somestésica) donde se hará real y consciente la sensación de dolor y su localización.

Teoría del dolor por vías sensitivas

Si se da por buena la posibilidad de que las terminaciones nerviosas de relación con el medio son transmisoras del dolor, tanto las terminaciones sensitivas como las fibras de conduc-

Figura 8-4. Algunas terminaciones nerviosas.



ción del impulso poseen una serie de características morfológicas y funcionales que no se pueden pasar por alto, si se desea entender «acerca de lo poco que se sabe» sobre este capítulo de la fisiología (Fig. 8-4):

- Cuando el estímulo es muy intenso, en la misma proporción aumenta la frecuencia de impulsos que serán conducidos por el nervio correspondiente a través de la médula hasta los centros nerviosos del tronco cerebral y corteza.
- Un estímulo cualquiera aplicado desde el exterior puede producir una sensación que se percibe según los siguientes niveles:
 - *Subliminal*, no se siente.
 - *Supraliminal* (normal).
 - *Fuerte o molesta* con alteraciones de la sensación normal.
 - *Dolorosa* con distintas intensidades de dolor por saturación.
- Unos receptores tienen la propiedad de acomodarse de forma rápida al estímulo apli-

cado, generan su tren de impulsos, más o menos corto, y de inmediato pasan al estado de reposo. Mientras, otros, una vez que han recibido el estímulo, no se acomodan y continúan generando impulsos que se conducen hacia la corteza (entre ellos se hallarían los nociceptores).

- Para percibir la sensación de dolor, los impulsos generados tienen que ser conducidos hasta la corteza cerebral. Si éstos no alcanzan la corteza, no se referirán como dolor.
- Cuando las terminaciones nerviosas de relación, tacto, presión, elongación, propiocepción, etc. se encuentran en un ambiente metabólico normal, los estímulos moderados se perciben como estímulos nerviosos. Sin embargo, si se hallan en un ambiente metabólico alterado, los estímulos moderados se perciben como dolorosos, en relación directa con el grado de alteración metabólica. Cuando se palpa un tejido inflamado, se genera dolor, pero la misma palpación en un tejido normal genera sensación de presión (v. «Galvanopalpación», en el cap. 6).

Mecanismo de activación-inhibición

El sistema nervioso, a pesar de su complejidad, muestra dos funciones básicas (entre muchas otras) que al fisioterapeuta le interesan en este momento:

- la función activadora y
- la función inhibidora.

En general, un estímulo genera un impulso nervioso, el impulso nervioso alcanza las sinapsis o formaciones reticulares, éstas activan la generación de otros impulsos nerviosos o inhiben e interrumpen impulsos que ya estaban circulando (Fig. 8-5).

La gran mayoría de las técnicas fisioterápicas se basan en estos dos mecanismos (activación e inhibición nerviosa) tanto si son empleadas en electroterapia como en fisioterapia para dolores neurológicos, para reumatismo, movilidad articular, elongaciones musculares, potenciación, propiocepción, coordinación, hidroterapia, masaje, etcétera.

En esta parte de la electroterapia que se está tratando hay que buscar las formas de interferir, interrumpir o inhibir los impulsos nerviosos que son conducidos como dolorosos. Se trata del llamado efecto puerta o *gate control*.

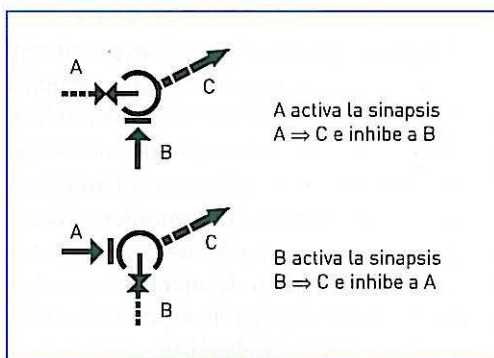


Figura 8-5. En la activación e inhibición se basa el efecto puerta o *gate control*.

Neurorreceptor o terminación nerviosa

Existen varios tipos y clasificaciones de neurorreceptores según su función, forma, tamaño, densidad o abundancia en una zona determinada y por su especialización o comportamiento fisiológico.

En principio, los neurorreceptores se dividen en tres grandes grupos:

- exteroceptores,
- interoceptores (quimiorreceptores) y
- propioceptores (mecanorreceptores).

Exteroceptores

Por lo general son los más conocidos. Relacionan al ser humano con el medio. Su función es transmitir con rapidez al sistema nervioso central las sensaciones de tacto, temperatura, olores, visión, etc. Sin embargo, en su origen, no tienen la función de detectar dolores, a no ser que se supere con mucho el umbral sensitivo, se produzca un estímulo nervioso que se convertirá en dolor o que estas terminaciones se vean envueltas por un ambiente metabólico alterado que las convierta en hipersensibles.

Lógicamente, la forma de aliviar este tipo de dolores se basará en evitar la agresión y así desaparecerá el dolor de forma más o menos rápida, en función de la intensidad del estímulo o de la capacidad de recuperación y acomodación de dichas terminaciones.

Acabará comprobándose la importancia de una función de estos exteroceptores, sobre la cual se basa la teoría del *gate control*, que más adelante se describirá.

Interoceptores

Son terminaciones que informan a los sistemas nerviosos simpático y parasimpático del estado, función y niveles metabólicos de los

tejidos, de las vísceras y órganos internos. Son los menos conocidos junto con su sistema de transmisión y, tal vez, en esta parte de la fisiología nerviosa se encuentren muchas razones y explicaciones que no se tienen sobre fenómenos cuya existencia demuestra el empirismo. Actúan como antiálgicos en determinadas circunstancias u ocasiones sin entender, en otras, por qué no se obtiene la eficacia deseada.

En esta parte del sistema nervioso tal vez se hallen las relaciones con el mundo de las distintas *reflexoterapias*, *acupuntura*, *reacciones neuroquímicas*, *hormonales*, etcétera.

Los dolores de tipo visceral son los más difíciles de atacar con los medios de estimulación eléctrica sensitiva si no se posee un buen bagaje de conocimientos y práctica en acupuntura (en este caso, electropuntura) o estimulación de otras zonas reflejas.

Propioceptores o mecanorreceptores

Mejor estudiados, se localizan, sobre todo, en las cápsulas articulares, fascias y tendones para informar en todo momento de la tensión y posición de los órganos, miembros, presiones de líquidos, relación con el espacio, etcétera.

En la clasificación que se lleva a cabo de estos neurorreceptores, se hallan los nociceptores o receptores del dolor (que también se localizan en otras partes del organismo y no sólo en las articulaciones).

Las terminaciones propioceptivas en general y su primer tramo nervioso se clasifican según la *tabla 8-1*.

En fisioterapia se concede bastante importancia a los neurorreceptores articulares, porque se encuentra una multitud de procesos patológicos en los que los dolores se localizan en las articulaciones y sus partes blandas próximas. A modo de ejemplo, puede pensarse en todos los procesos de algias en la espalda, donde se asegura que las alteraciones articulares (articulaciones vertebrales posteriores) son causantes de diversidad de síntomas y manifes-

taciones patológicas soportadas por el sistema nervioso central, la primera de las cuales en hacerse objetiva es el dolor.

Teoría del dolor por nociceptores

Queda por aclarar la existencia definitiva de terminaciones nerviosas específicas para detectar dolor. En cuanto a las fibras nerviosas que lo conducen parece evidente su existencia. De haber terminaciones nociceptoras, se encontrarían en forma de terminaciones libres que se unen a fibras de tipo C, que son sensibles a tres formas fundamentales de estímulo:

- nociceptores mecanosensibles,
- nociceptores termosensibles (comienzan a estimularse a 15 °C para el frío y a 45 °C para el calor) y
- nociceptores quimiosensibles.

Si responde, respectivamente, al hecho de que el estímulo provenga de una deformación de tejidos, de aumentos o disminuciones de temperatura que superen los umbrales dolorosos o que se sientan agredidos por sustancias químicas, de las cuales se citarán algunas muy interesantes para el fisioterapeuta, por ser propias del metabolismo orgánico: bradicinina, serotonina, iones potasio, radicales ácidos, histamina, prostaglandina, acetilcolina y enzimas proteolíticas.

Teoría del dolor por inervación secundaria

La inervación secundaria procede del sistema nervioso autónomo simpático y parasimpático. Los axones llegan a la zona corporal afecta de patología, que está inervada por las raíces motoras voluntarias y sensitivas de su metámera correspondiente y por los axones neurovegetativos que acompañan a la raíz primaria, pero cuyo nacimiento no coincide con el mismo nivel de ésta.

A modo de ejemplo se considerará la cara anteroexterna del hombro, cuya inervación primaria se sabe que procede del 5º ramo primario cervical. Sin embargo, la inervación del control neurovegetativo de la zona corre a cargo de los axones que proceden de ocho niveles por debajo (5ª raíz torácica). Estos axones ascienden o descienden por las cadenas ganglionares del sistema nervioso simpático o del parasimpático hasta emerger junto con su raíz primaria correspondiente. Por ello, si dicha raíz secundaria está comprimida e irritada por

una malposición vertebral en el 5º espacio intervertebral torácico, manifestará dolor y otros síntomas en la cara anteroexterna del hombro (Fig. 8-6).

En la figura 8-6 puede apreciarse que el sistema nervioso simpático se distribuye entre las vértebras T1 y L2, y también cómo las raíces secundarias de la T9 y superiores ascienden hasta ocho niveles para salir con la primaria que le corresponde a los miembros superiores y la cintura escapulohumeral. Además, desde la T10 e inferiores saltan cinco niveles para

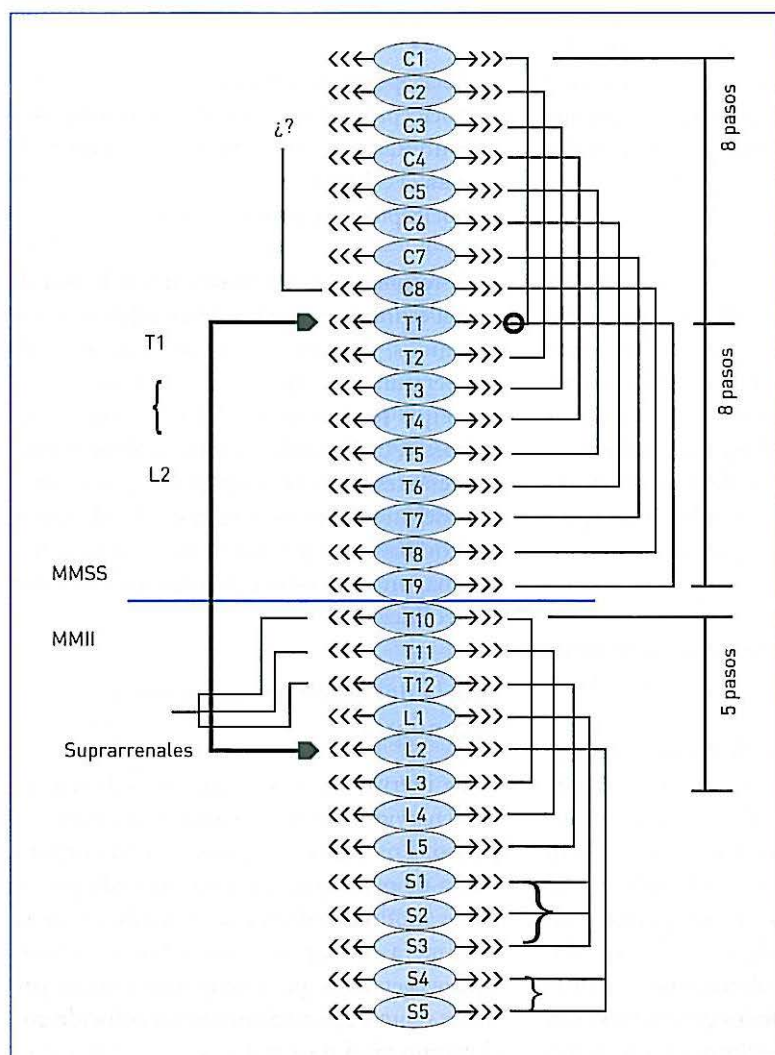


Figura 8-6. Distribución de las raíces del sistema nervioso simpático y el recorrido hasta el nivel de la raíz primaria a la cual acompaña. MMII: miembros inferiores; MMSS: miembros superiores.

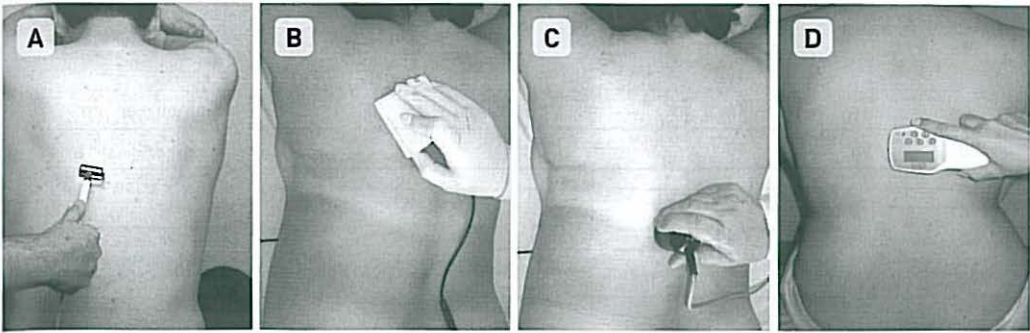


Figura 8-7. Galvanopalpación para localizar y tratar las raíces secundarias del simpático. A) Se explora con el rodillo de galvanopalpación. B) Se explora con un electrodo bajo el abdomen y el otro se desplaza con la mano. C) Se utiliza el cabezal de ultrasonidos en la modalidad de terapia combinada. D) Se utiliza el aparato de TENS diseñado para esta técnica de forma específica.

emerger con su primaria correspondiente a la pelvis y miembros inferiores.

Para averiguar si los dolores proceden de la inervación secundaria, se practica una galvanopalpación y se encontrará el nivel alterado y la irradiación a la zona dolorida. La corriente usada para localizar el punto servirá también para tratarlo, pero se modificará la intensidad hasta el inicio de dolor (Fig. 8-7). Puede realizarse con guantes conductores, con el cabezal de ultrasonidos en terapia combinada, con el mando de galvanopalpación o con un electrodo que se desliza a mano (tras colocarse unos guantes aislantes de látex o de vinilo).



Vídeo 8-2. Electroanalgesia metamérica

Conducción del dolor

Los impulsos sensitivos son conducidos por los nervios y éstos poseen multitud de fibras nerviosas o axones de diferentes tamaños en dos formas fundamentales:

- *Fibras mielínicas* de 1 a 20 μm de diámetro.
- *Fibras amielínicas* de 0,5 a 2 μm , normalmente más abundantes que las mielínicas debido a la multitud de funciones neurovegetativas que deben realizar.

Las sensaciones dolorosas son conducidas con preferencia por las vías nerviosas aferentes específicas del dolor (de tipo C), como los dolores viscerales, cronificados, por alteraciones metabólicas. Mientras tanto, los dolores, a causa de estímulos muy intensos y agresivos, serán conducidos por las vías destinadas a transmitir las sensaciones recogidas como información normal y rápida (algunas de tipo A; Fig. 8-8).

3 Fibras mielínicas

Se caracterizan por tener la membrana recubierta de una capa de mielina que las convierte en menos permeables o con mayor resistencia eléctrica respecto al exterior. Presentan disminuciones periódicas en el grosor de la mielina (nódulos de Ranvier), por las cuales se realiza la despolarización, lo que permite que dicha despolarización de membrana se realice en tramos (*avance saltatorio* del impulso). En realidad, cada nódulo es un condensador entre el interior y la célula de Schwann que autorregenera los pulsos de despolarización.

Al ser más gruesas que las fibras amielínicas, la resistencia eléctrica por su interior disminuye, lo que facilita la rapidez de conducción del estímulo que, a su vez, está favorecida por la forma de avance saltatorio a través de los

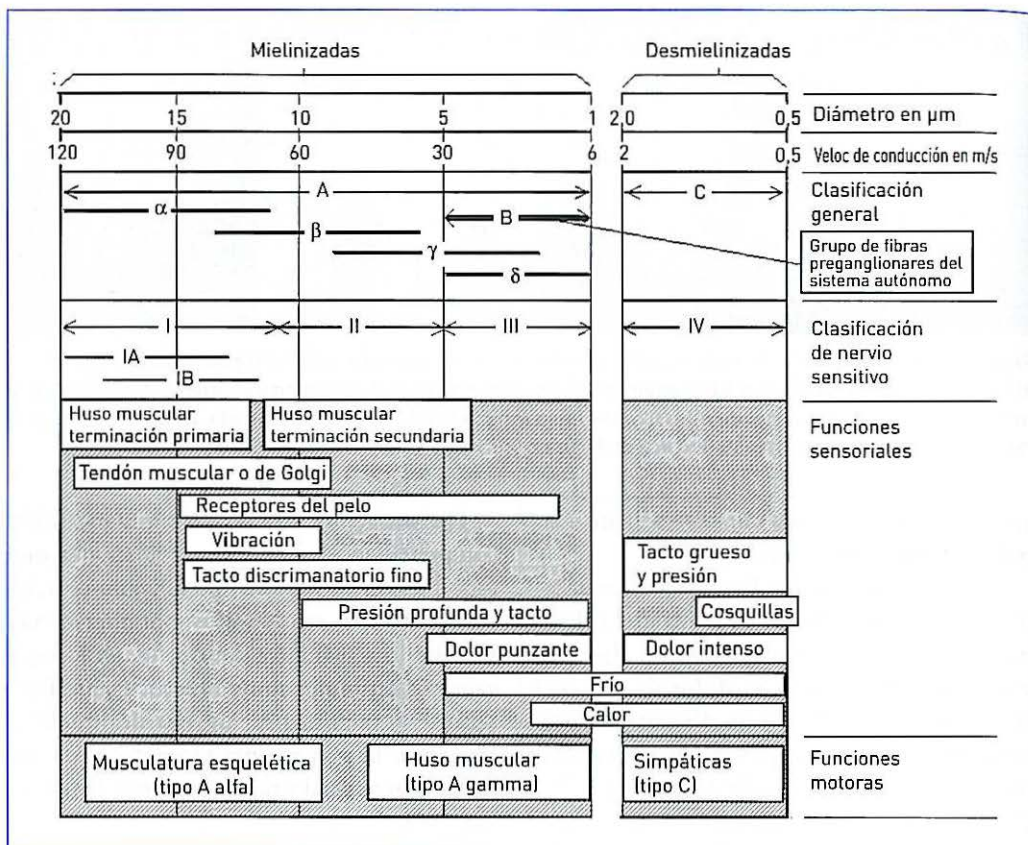


Figura 8-8. Clasificación fisiológica y funciones de las fibras nerviosas.

nódulos de Ranvier, los cuales permiten la autorregeneración del impulso en cada nódulo sin que pierda potencia en su avance.

Cuando las referidas fibras conducen dolores, éstos son intensos, fulminantes, de agresiones traumáticas o estímulos excesivamente fuertes; en general, implican una respuesta de defensa. El dolor es conducido por las fibras A- δ . Cuando el dolor se transmite a la corteza por las vías espinotalámicas, estas fibras no conectan con la formación reticular del tronco cerebral sino que van directamente a la corteza con el fin de generar una información rápida y crear una respuesta motora de defensa inmediata.

Las velocidades de conducción oscilan entre 6 y 120 m/s según su menor o mayor grosor (Tabla 8-2).

Fibras amielínicas

Estas fibras se caracterizan porque su membrana no está recubierta con la capa de mielina ni con nódulos de Ranvier, ni mediante avance saltatorio, por lo cual, unido a su menor sección, su velocidad de conducción estará reducida 10 veces con el mismo diámetro. Su pequeño diámetro aumenta la resistencia eléctrica, con lo que cae de forma progresiva la intensidad y la fuerza del impulso. Al no poseer avance saltatorio, la despolarización avanza de forma progresiva por el axón, otra razón que frena la rapidez de avance sin poder autorregenerar el impulso, como lo hacen las fibras mielínicas en los nódulos de Ranvier.

Las velocidades que se consideran medias en estas fibras nerviosas se encuentran en los

Tabla 8-2. Clasificación de las fibras preganglionares del sistema nervioso autónomo

Tipo de fibra	Función	Diámetro (en μm)	Velocidad (en m/s)
A- α	Aferencias de los músculos fusiformes y órganos tendinosos Eferencia a la musculatura esquelética	15	De 70 a 120
A- β	Aferencia de la piel (sentido del tacto)	8	De 30 a 70
A- γ	Eferencia a los músculos fusiformes	5	De 30 a 70
A- δ	Aferencias cutáneas (temperatura y dolor rápido)	3	De 12 a 30
B	Preganglionar simpático	3	De 3 a 15
C	Aferencia cutánea (dolor lento) Postganglionar	1 y amielínicas	De 1 a 5

márgenes de 1 m/s en 1 μm de diámetro y menor velocidad en diámetros inferiores.

Conducen dolores sordos, persistentes, crónicos, difuminados, reflejos, normalmente producidos por alteraciones iónicas y metabólicas en las zonas de terminaciones nerviosas. El dolor es conducido por las fibras de tipo C. Cuando se transmite a la corteza cerebral por las vías espinotalámicas, éstas conectan con la formación reticular del tronco cerebral (sobre todo, tálamo) y desencadenan, desde este núcleo, muchas respuestas lentas de alarma y alerta (ya mencionadas con anterioridad).

A su vez, estos dos grandes grupos de fibras encierran otros, representados en la [tabla 8-2](#).

Equipos y utillaje para electroanalgesia con técnicas de estimulación nerviosa sensitiva y motora

Ante todo, hay que tener en cuenta que no se puede tomar «la parte por el todo», es decir, debe quedar claro que el tema contiene en sí suficiente entidad y complejidad como para considerarlo una metodología bastante amplia, la cual se merece un nombre que bien puede ser: *técnicas de estimulación nerviosa sensitiva y motora para el dolor, de forma transcutánea*,

en lugar de emplear una sigla referida a un «aparato de pilas que elimina los dolores». Esta sigla, además y como casi todas, tan sólo siembra confusión y falsas expectativas.

Para electroanalgesia se poseen muchas corrientes tanto de baja como de media y de alta frecuencia. Por lo que se refiere a la baja frecuencia, se dispone de:

- Un grupo basado en la corriente galvánica y otras con alto componente galvánico (diadinámicas, galvánica pulsada, diseño de corrientes en que se ajusta el componente galvánico y la frecuencia a voluntad, corriente de Trabert, etc.). Este grupo se destina a provocar cambios metabólicos e influencia en el trofismo en los dolores de origen bioquímico.
- Otro grupo con el cual se busca respuesta motora para relajar contracturas, inhibir hipertonías y liberar las articulaciones, atrapamientos tronculares nerviosos y complejos miofasciales mediante vibraciones musculares y trenes muy cortos desde alto voltaje, corrientes farádicas, ajuste de pulso y reposo adecuados a la consecución de la vibración o del tren corto, destinadas a los dolores mecánicos.
- Otro tercer grupo con el cual se pretende un estímulo sensitivo sobre vías nerviosas

que busca, sobre todo, el efecto de *gate control*, con pulsos de alto voltaje muy cortos y frecuencias entre 80 y 150 Hz con polaridad o sin ella. Se pretende aliviar dolores de tipo neurogénico y neurálgico. El aparato de TENS se usará de forma típica en esta ocasión, de baja frecuencia y que trabaja en alto voltaje, el cual se detallará más adelante.

En media frecuencia se dispone de un importante arsenal de corrientes muy potentes para la electroanalgesia, como:

- Corrientes interferenciales clásicas que adormecen de forma muy importante las terminaciones nerviosas de la zona.
- Corrientes moduladas de media frecuencia, las mal llamadas corrientes interferenciales bipolares, semejantes a las anteriores.
- Portadora de media frecuencia sin modular o modulación 0 que produce un efecto de pseudoanestesia.
- Trenes en las corrientes de Kots para relajación y liberación articular, liberación miofascial y troncular.
- Vibraciones de media frecuencia en las corrientes de Kots o en las moduladas bipolares.

En alta frecuencia puede aplicarse un arsenal importante para analgesia, como el efecto térmico de la onda corta o de la microonda, así como efectos termomecánicos del ultrasonido y otros del láser. Sin embargo, en este capítulo no procede tratar todavía sobre ellos.



Vídeo 8-3. Pantalla TENS

Un equipo estándar de electroterapia que cubra la baja frecuencia y la media frecuencia será el ideal para los tratamientos de electroanalgesia. Los equipos portátiles alimentados con baterías no alcanzan las posibilidades de los equipos de sobremesa, pero también pueden aplicarse con las consiguientes limi-

taciones aunque «están de moda». De los portátiles básicamente se dispone de los aparatos de TENS y de estimulación electromuscular (EMS) (los primeros para analgesia y los segundos para trabajo neuromuscular) y, con este trabajo, también se alcanza analgesia.

A modo de comparación, en la [figura 8-9](#) se presentan las coberturas de tiempos de pulso (en baja frecuencia) desde un estimulador profesional hasta un aparato de TENS. La zona sombreada indica sobre la gráfica para curvas (I/T)-(A/T) el rango que suele cubrir cada uno. Si se analizan las cuatro opciones, se aprecia el potencial terapéutico de cada una, así como sus limitaciones.

Sobre la gráfica se han superpuesto varias curvas (unas de normalidad y otras de enfermedad) para tener una idea de si cada una de las cuatro opciones es aplicable en determinadas enfermedades o no. Por ejemplo, una EMS no sirve para tratar una parálisis periférica porque no es capaz de alcanzar la banda de tiempos que cubre la última curva superior derecha (parálisis grave; v. cap. 10).

El *estimulador nervioso sensitivo transcutáneo* o aparato de TENS y/o TNS para analgesia, miniaturizado y de primera generación, era muy simple: con dos electrodos (cátodo y ánodo), selector de corriente para frecuencia fija y *burst*, regulador de frecuencia entre 1 y 100 Hz, potenciómetro de intensidad y no más de una salida de aplicación.

Posteriores generaciones muestran más cualidades: dos canales, frecuencias de 1 a 250 Hz, regulación de anchura de pulso, aplicación en modo de frecuencia fija, en modo *burst* y en modulaciones ([Fig. 8-10](#)). Estos aparatos son portátiles, alimentados con pilas o baterías, pensados para que se programen en la consulta y que se los autoaplique el paciente con el mínimo manejo posible.

En la [figura 8-10 A](#) se presenta un aparato de EMS analógico ajustado más para que actúe como aparato de TENS que como aparato de

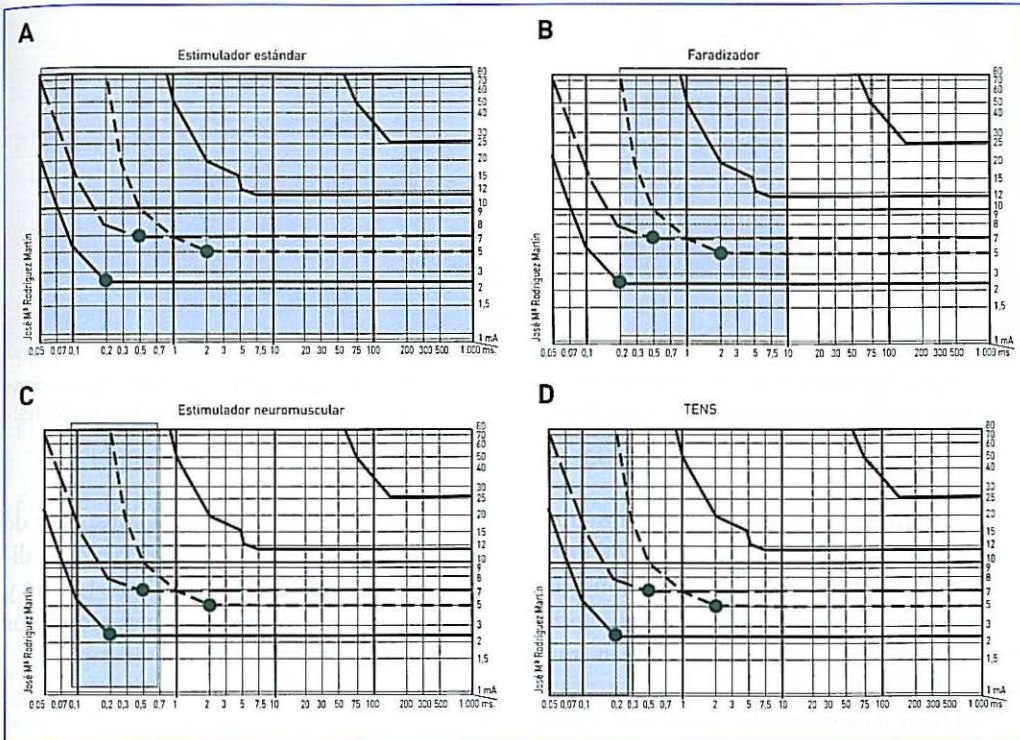


Figura 8-9. A) Se aprecia cómo la cobertura de un estimulador profesional cubre toda la gama de tiempos. B) Rango que abarca un faradizador profesional. C) Se aprecia el rango de tiempos que suele ofrecer un EMS o aparato de estimulación neuromuscular. D) Pueden observarse los tiempos de pulso que cubre un aparato de TENS dentro de toda la banda que se usa en fisioterapia.

EMS. En la [figura 8-10 B](#) se observa un aparato de TENS y EMS digital de una generación más actual que el anterior.

Diferencias entre TENS y EMS

Está extendida la idea de que el aparato de TENS únicamente se aplica para analgesia y el de EMS sólo para fortalecimiento muscular. El aparato de EMS es muy aprovechable como instrumento de analgesia. A continuación se presenta un breve resumen de sus cualidades y diferencias.

El aparato de TENS es un pequeño instrumento generador de pulsos eléctricos destinado a conseguir analgesia. El aparato de EMS es otro instrumento de dimensiones semejantes al anterior destinado al trabajo muscular, en conjun-

tos neuromusculares normales. Ambos son de alto voltaje, es decir, dado que los pulsos son muy cortos, ello obliga a elevar mucho lo que se denomina intensidad, pero que en realidad se transforma en pulsos muy altos en cuanto a voltaje, pero con una intensidad eficaz muy débil.

El TENS está basado en sus precursores estimuladores chinos y portátiles para aplicación de electropuntura y, a la vez, para búsqueda de puntos. Los TENS no poseen la cualidad de buscapuntos (excepto algunos) ni tampoco siguen totalmente las características de las corrientes generadas en los estimuladores de electropuntura. Los electropuntadores no sólo sirven para conectar a las agujas, también se pueden aplicar a electrodos estándar.

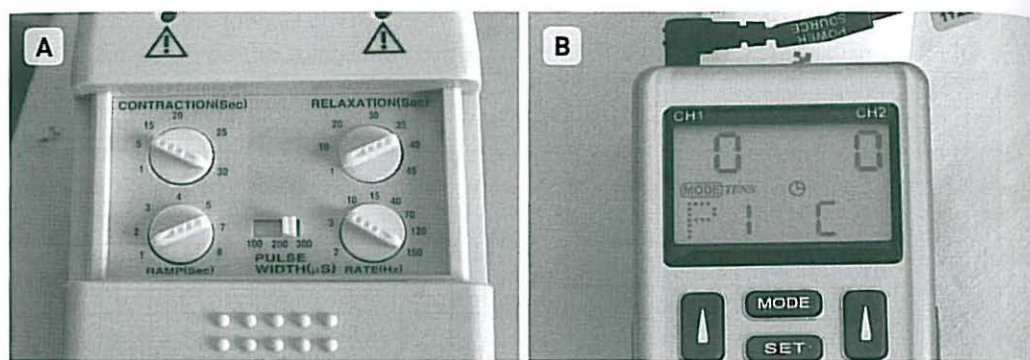


Figura 8-10. A) Un EMS o aparato de estimulación neuromuscular analógico con una portezuela que descubre los mandos para ajustes en consulta, tiene dos salidas y sus correspondientes mandos de intensidad. B) Imagen de un aparato de TENS y EMS digital programado y programable.

8

El aparato de EMS, de aparición posterior al de TENS, se destina, como se ha descrito con anterioridad, a la electroestimulación neuromuscular siempre que no se esté frente a procesos patológicos o, si existen, que sean muy moderados (Tabla 8-3).

Con todo, a no ser que los aparatos de TENS y EMS no superen una adecuada calidad y posibilidades de regular parámetros, la mejor opción será un buen equipo de electroestimulación de baja frecuencia convencional que admita seleccionar el impulso que se desee y el reposo que parezca

más conveniente, lo cual permitirá disponer de multitud de posibilidades o resolver cualquier dificultad que se presente (Fig. 8-11; v. «Diseño y características mínimas de un neuroestimulador de alto voltaje [TENS y EMS]», en el cap. 11).

Corrientes para las técnicas de estimulación nerviosa sensitiva y motora basadas en alto voltaje

Las características fundamentales de dichas corrientes consisten en:

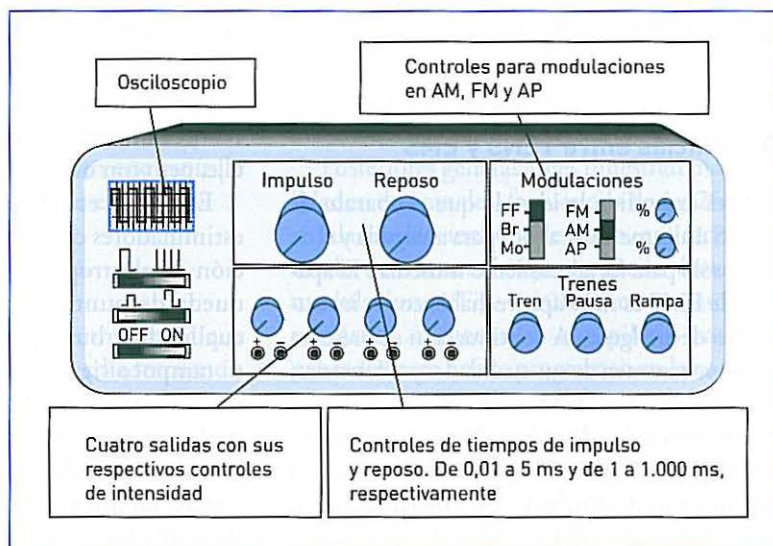


Figura 8-11. Equipo de alto voltaje para analgesia (TENS) y para trabajo neuromuscular (EMS). AM: amplitud; AP: anchura de pulso; Br: *burst*; FF: frecuencia fija; FM: frecuencia modulada; Mo: modulaciones.

Tabla 8-3. Diferencias entre los TENS y los EMS

TENS	EMS
Destinado a analgesia	Destinado a trabajo muscular
Suele tener 2 salidas	Suele tener 2 salidas o más
Intensidad hasta 50 mA	Intensidad hasta 80 o 100 mA
Modos de trabajo en <i>burst</i> , frecuencia fija y modulaciones (algunos ofrecen una opción de trenes)	Modos de trabajo en trenes (algunos ofrecen la posibilidad de frecuencia fija)
Frecuencia regulable entre 1 y 150 o 200 Hz	Frecuencia regulable entre 10 y 100 Hz (algunos ofrecen frecuencias por debajo de 10 Hz)
El tiempo de sesión tiende a ser bastante largo (15, 20, 30 o 60 minutos)	El tiempo de sesión tiende a ser más corto que en el TENS (10, 15 o 20 minutos)
En modulaciones pueden modularse la anchura de pulso (AP), la amplitud (AM) y la frecuencia (FM)	No tiene modulaciones (algunos más evolucionados ofrecen esta opción)
En las modulaciones de frecuencia debiera tenerse la opción de ajustar sus límites con frecuencia menor y frecuencia mayor	
Algunos TENS (raros) ofrecen posibilidad de trenes	Los trenes son regulables entre 1 y 30 s. Las pausas entre trenes son regulables desde 1 hasta 60 s
	La rampa de subida del tren debe regularse para que se establezca de manera más o menos brusca. Unos ajustan el tiempo de subida y otros un porcentaje del tiempo ocupado por el tren
Los <i>burst</i> son pequeñas ráfagas, 2 por segundo, que pueden utilizarse para vibración muscular. Algunos permiten regular la frecuencia de <i>burst</i> entre 1 y 10 Hz	Es muy interesante que los EMS posean frecuencia fija muy baja (entre 1 y 10 Hz) para aplicar vibraciones musculares
Suelen alimentarse con una pila de 9 V	Suelen alimentarse con una o dos pilas de 9 V
	Algunos EMS ofrecen la opción de que los trenes surjan de manera simultánea por ambas salidas o que se alternen para trabajar los antagonistas cuando los agonistas se relajan
Trabajan en VC y en CC, aunque pocos aparatos permiten elegir entre ambas opciones	Trabajan en VC y en CC, aunque pocos aparatos permiten elegir entre ambas opciones
Las formas de pulso pretenden ser monofásicas cuadrangulares con algún pico negativo procedente de las deformaciones propias de los transformadores de salida. Cada vez se fabrican más TENS con cambios en las formas de las ondas	Las formas de pulso pretenden ser bifásicas simétricas consecutivas cuadrangulares. Algunos permiten elegir entre diferentes formas de onda. En general, los EMS cuidan más las ondas de salida

Tabla 8-3. Diferencias entre los TENS y los EMS (Cont.)

TENS	EMS
Los electrodos suelen ser pequeños e iguales	Es importante que el tamaño de los electrodos sea variado para combinarlos y adaptarlos a los diferentes músculos y métodos de estimulación
Los electrodos se sitúan sobre puntos dolorosos o en la forma más adecuada para analgesia. En caso de trenes, localizarlos para la mejor respuesta muscular	Los electrodos se posicionan tratando de provocar la mayor y mejor contracción muscular. En caso de frecuencia fija, el objetivo será la analgesia como en el TENS
Los TENS suelen ser más baratos	Los EMS son comparativamente más caros
Con el TENS no se debe superar las respuestas motoras, salvo cuando se genere alternancia en el trabajo muscular	Con el EMS se supera el umbral motor para tonificar y potenciar musculatura, excepto cuando se aplique frecuencia fija, que solamente debe alcanzar el estímulo sensitivo. En frecuencia fija podemos superar la respuesta motora con vibración muscular cuando ésta oscile entre 1 y 6 Hz
El TENS se destina al estímulo de fibras nerviosas sensitivas	El EMS se destina al estímulo de fibras nerviosas motoras
Tiempo de pulso regulable entre 0,05 y 0,3 ms (pasando por toda la gama)	Tiempo de pulso regulable entre 0,1 y 0,75 ms (dos o tres opciones)

- Impulsos cuadrangulares (aunque pueden modificarse en cuanto a la polaridad, como monofásicos y bifásicos).
- Regulador de forma entre monofásico y bifásico.
- Regulador de tiempo de impulsos.
- Regulador de tiempo de reposos.
- Ajustes en la modalidad de aplicación al poder elegir entre frecuencia fija (FF), *burst* (Br) y modulaciones (Mo), las cuales, a su vez, pueden ser en frecuencia modulada (FM), en anchura de pulso (AP) o en amplitud (AM).
- Trenes de impulsos con su regulador de tiempo de tren, tiempo de pausa y de la rampa.
- Rampa en los trenes de impulsos con su regulador de tiempo de ascenso del tren o porcentaje de ascenso.
- Varias salidas con sus reguladores de intensidad independientes para permitir aplica-

ciones diversas, buscando métodos distintos de manera simultánea en el mismo paciente. Es muy importante que los equipos para estos menesteres dispongan de la posibilidad de trabajo alternativo de unos canales respecto a los otros. Por ejemplo, cuando trabajan los impares, descansan los pares y viceversa.

Es frecuente, en los últimos tiempos, encontrar en el mercado equipos digitales que actúan tanto de TENS como de EMS (Fig. 8-9 B), equipos que poseen varias salidas y ofrecen gran cantidad de programas diseñados de fábrica. Al analizar estos programas, muchos de ellos no sirven para lo que se anuncia, otros presentan excesivas cautelas eléctricas y otras veces se basan en escuelas con las cuales no se tiene por qué estar de acuerdo, etcétera.

Estos equipos han salido al mercado, dirigidos al gran público y bastante limitados al

uso profesional. El profesional debe fijarse en que algunos programas permitan la modificación personalizada para cubrir sus propios objetivos.

Impulso

Los impulsos suelen ser de corta duración, muy excitantes o estimulantes de las fibras nerviosas, de forma cuadrangular (monofásicos o bifásicos), de voltajes considerables y adecuadamente separados entre sí.

Los tiempos empleados por lo general cubren márgenes desde 0,01 hasta 0,5 ms, aunque la mayoría de los aparatos modernos se centran entre 0,05 y 0,3 ms, mientras que en los antiguos, por razones técnicas, los tiempos eran más largos y triangulares.

La forma que se considera más adecuada para estos impulsos es, cuando menos, la de subida brusca, típica de la forma cuadrangular, esto es, estímulos que sometan a cambios repentinos, cortos y rápidos a las terminaciones nerviosas sensitivas (con mayor capacidad de despolarización de membrana). Sin embargo, las polémicas y disputas respecto a la mejor forma son relativas, pues dependen de varios

factores, como el diseño del equipo, el hecho de que el equipo trabaje en corriente constante (CC) o en voltaje contante (VC), que se mida sobre resistencia artificial o sobre tejidos humanos, que se mida la onda de intensidad o la de voltaje, etcétera.

Al observar la figura 8-12 se pueden entender estas circunstancias. En la figura 8-12 A se aprecia una onda o pulso cuadrangular monofásico obtenido de un aparato de TENS, pero la onda de voltaje (V) y la de intensidad (I) son diferentes. En la figura 8-12 B se observa la misma onda aplicada sobre una resistencia artificial, la cual no ofrece impedancia y, por lo tanto, no deforma ninguna de las dos.

A modo de conclusión, es mejor no perder demasiado tiempo en divagaciones sobre la mejor forma de onda para alcanzar la mejor analgesia.

Todos estos equipos portátiles (TENS y EMS) se basan en la estimulación de alto voltaje. Los parámetros eléctricos más notables de los impulsos se caracterizan por voltajes que pueden alcanzar hasta 200 o 300 V, pero de intensidad eficaz muy baja, propiedad que los convierte en muy estimulantes e irritantes, pero poco peligrosos; por ello pueden conseguirse en

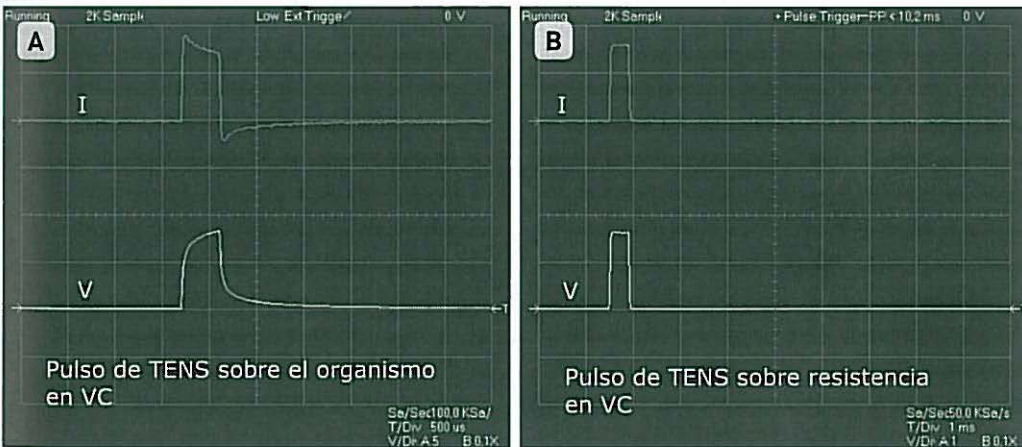
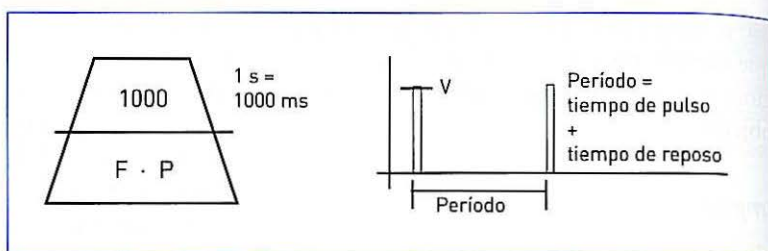


Figura 8-12. Pulsos cuadrangulares de un aparato de TENS de 500 μ s sobre el organismo (A) y sobre una resistencia artificial (B). Deben compararse las formas según lo descrito en el texto. I: intensidad; V: voltaje; VC: voltaje constante.

Figura 8-13. A la izquierda se representa el esquema de la ecuación que hace referencia a la fórmula de la frecuencia (F) y del período (P). A la derecha, el vector de período entre dos pulsos consecutivos con su reposo.



pequeños aparatos alimentados con una pila y un transformador de bobinas en la salida.

Frecuencia

La banda de frecuencias utilizadas para este tipo de corrientes oscila desde 1 hasta 250 Hz. Los primeros estimuladores transcutáneos de baterías se construyeron para generar una banda regulable de 1 a 100 Hz. Sin embargo, en la actualidad llegan a alcanzar frecuencias de 250 Hz, o incluso más, sobre todo si están diseñados con la técnica de saturación nerviosa; en este caso, dichos estimuladores pueden alcanzar varios miles de hercios.

Cuando se esté obligado a saber o conocer la frecuencia con que se trabaja, no puede seguirse la fórmula de la velocidad de la luz. En su lugar, tendrá que aplicarse la del período. La razón reside en el hecho de que los impulsos y los reposos entre impulsos no son semejantes entre sí, más bien al contrario; por lo general, serán más largos los reposos que los impulsos (Fig. 8-13).

Reposos

Al tener que emplear impulsos de corta duración (menores de 1 ms como media, semejantes a los impulsos nerviosos orgánicos), si los reposos también fuesen cortos, el tiempo de período sería muy corto, lo que generaría frecuencias por encima de los márgenes que se consideran adecuados a la fisiología.

Por ello, deben separarse los impulsos lo bastante como para que su frecuencia cubra los

márgenes adecuados con el mando regulador correspondiente y lograr que los reposos sean más o menos largos (sin influir en el tiempo de impulso) a no ser que también se desee regular el impulso y el aparato lo permita.

Para calcular la frecuencia, los tiempos de impulso o de los reposos, hay que acudir a la fórmula del período o tiempo ocupado por un impulso más el reposo consecutivo hasta el punto de inicio del siguiente impulso (Fig. 8-13).



Videos 8-4 y 8-5. Bifásicas y Ciclo, período y frecuencia

A continuación se presentan un par de ejemplos:

- En el primero se diseña en el electroestimulador una corriente formada por impulsos de 0,5 ms y reposos de 10 ms. ¿Qué frecuencia tiene dicha composición?

El período está formado por 0,5 + 10 ms = 10,5 ms de *período*.

Si se desea saber el número de impulsos contenidos en un segundo, se llevará a cabo la siguiente operación:

$$\text{Frecuencia} = \frac{1 \text{ s}}{\text{Período}} = \frac{1.000 \text{ ms}}{10,5 \text{ ms}} = 95,23 \text{ Hz}$$

- Se desea construir una corriente de 40 Hz por creer que será la frecuencia más adecuada para tratar el dolor que se presenta. Si se ha decidido que los impulsos sean de 1 ms, ¿qué tiempo debe darse al reposo?

La incógnita se halla en el *período*, formado por la suma del impulso más el reposo. Entonces, se formula de la siguiente manera:

$$\text{Período} = \frac{1 \text{ s}}{F} = \frac{1.000 \text{ ms}}{47 \text{ Hz}} = 25 \text{ ms}$$

Sin embargo, 25 ms son el tiempo de impulso más el tiempo de reposo y, puesto que ya se había decidido que el impulso era 1 ms, el reposo será de: 25 ms de período – 1 ms de impulso = 24 ms de reposo.

Con estos dos ejemplos el fisioterapeuta se vuelve a dar cuenta de que tal vez el aparato ideal para este tipo de terapia fuera aquel que permitiera regular la duración del impulso, la duración del reposo, la forma del impulso y la posibilidad de llevar a cabo barridos y trenes dentro de los márgenes deseados, etc. (Fig. 8-14).

Trenes

Los trenes de los equipos de estimulación transcutánea destinados a analgesia no deben ser tan largos como los de tonificación o potenciación, pues trenes largos provocan exceso de trabajo y exceso de energía que, por lo general, no se halla disponible en los casos de dolor o contractura muscular.

La duración del tren debe estar comprendida entre 0,5 y 7 u 8 s y las pausas entre trenes también serán de 0,5 a 10 s (Fig. 8-14).

Si se busca el efecto esponja o bombeo circulatorio –exprimir el sistema circulatorio en la contracción y permitir el llenado en la relajación– tal vez la cadencia de 1:1 (1 s de contracción y 1 s de relajación) sea muy rápida y se requieran relaciones de 2:2, 3:3 o 6:10, dependiendo de la capacidad muscular de cada paciente.

Puede darse la circunstancia de que no se disponga de un aparato de TENS, pero se posea un estimulador neuromuscular sólo con trenes y pretenda aplicarse frecuencia fija. ¿Cómo podrá conseguirse lo más parecido a la frecuencia fija? Se pone el tren en el máximo tiempo posible, la pausa en el mínimo tiempo posible y las rampas de subida y de bajada, bruscas. Así, a modo de ejemplo, podría obtenerse: 30 s de tren, 1 s de pausa y rampas al 0 %, es decir, se aplica una frecuencia durante 30 s que se interrumpe momentáneamente 1 s y continúa de forma cadencial, pero en niveles de respuesta únicamente sensitiva (Fig. 8-10 A).

Si los trenes elegidos son cortos y poco intensos, las rampas de ascenso podrán regularse con subida brusca, pero si los trenes son más largos e intensos con importante respuesta motora, deberán regularse con rampas de as-

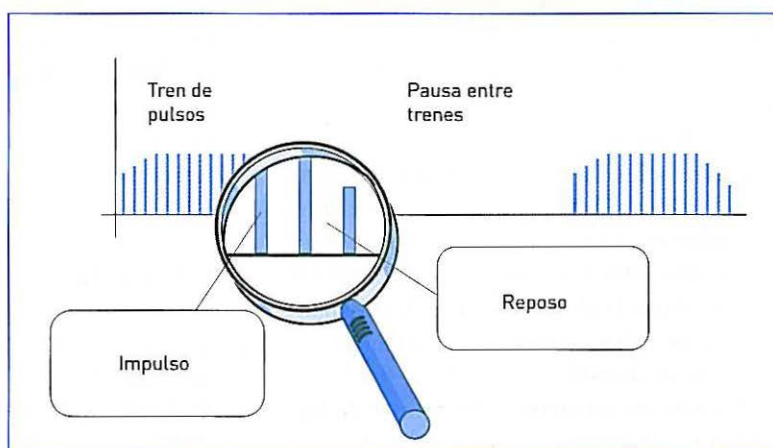


Figura 8-14. El tren y la pausa se establecen en segundos y el pulso con el reposo en milisegundos.

censo progresivo en el 10 o el 20 %, para evitar daños musculares. El capítulo 11 se dedica extensamente a la terapia con trenes.

Aperiódicas o efecto de aperiodicidad

Cuando se aplica una corriente con determinada frecuencia, tiempo de impulsos y reposos, pero de forma *mantenida durante la sesión*, el paciente se acostumbra o se acomoda y pierde el nivel de estímulo eléctrico y la consiguiente eficacia del tratamiento.

Para evitar este fenómeno, distintos autores (Adams, Nemec o Bernard) han diseñado sistemas que introduzcan cambios o modulaciones en las corrientes. Uno de ellos, muy frecuente, se basa en generar un barrido repetitivo de «ida y vuelta» entre dos frecuencias prefijadas de antemano. En los equipos de TENS se encontrarán diferentes modulaciones (Tabla 8-3). No obstante, es más eficaz como método de analgesia elevar la intensidad cuando el paciente se acomoda al estímulo en aplicaciones a frecuencia fija que aplicar corrientes con aperiodicidad.

Además de este efecto producido por la modulación en la FM, se buscaría la interferencia con los impulsos dolorosos conducidos por el nervio.

Muchos estimuladores ofrecen en sus opciones la corriente de FM que consiste en pulsos de 1 a 2 ms con reposos variables para ajustarse a un barrido de frecuencia que oscila entre 7 y 14 Hz, pero es muy interesante poder ajustar los extremos del barrido en los valores deseados.

Si se da por buena la teoría, según la cual los dolores rápidos son los agudos, el margen de frecuencias elegido será de 50 Hz en adelante. Sin embargo, si los dolores lentos son los crónicos, ante éstos se usarán barridos entre 1 y 50 Hz aunque lo ideal es disponer de dos mandos que permitan, a voluntad, regular sendos extremos de barrido.

A modo de sugerencia, los límites de frecuencia podrían ser:

- Regulación de límite bajo: de 1 a 50 Hz.
- Regulación de límite alto: de 50 a 250 Hz.

Las frecuencias entre 2.000 y 9.000 Hz —pertenecientes a media frecuencia—, sin sufrir modulaciones poseen un fuerte efecto de pseudoanestesia. Esta aplicación se consigue con la portadora de media frecuencia de forma directa.

Duración de la analgesia

Ante la batería de técnicas disponibles para electroanalgesia en fisioterapia, al conseguir resultados positivos, el tiempo de analgesia o duración del efecto varía de unos casos a otros, dependiendo sobre todo del tipo de dolor y la causa que lo origina.

Un problema importante en esta técnica se plantea cuando, en muchas ocasiones, el fisioterapeuta se siente defraudado al no obtener resultados satisfactorios, tal vez:

- por no trabajar con un objetivo de tratamiento y exploración previa,
- por falta de dominio de la técnica,
- por dudar de la táctica que debe emplearse,
- por no saber la velocidad o frecuencias a que es conducido el dolor o elegir frecuencias inadecuadas en el aplicador,
- por no tener claro el tipo y origen del dolor,
- por la colocación inadecuada de los electrodos,
- por no aplicar la polaridad adecuada,
- por falta de confianza o tensión emocional del paciente,
- por no conocer la fisiología del sistema nervioso, etcétera.

Multitud de factores pueden influir en el tratamiento y conseguir que en ocasiones se obtengan resultados espectaculares sin saber las razones y, en otras, fracasos rotundos sin conocer tampoco el porqué. Esto convierte la técnica en fuente de polémica con grandes detractores y grandes simpatizantes.

Si la irritación es mecánica, morfológica o de agresión permanente, los resultados serán dudosos; en caso de ser positivos, el tiempo de analgesia en general será corto, pues, aunque se consiga eliminar el dolor, con frecuencia al moverse de nuevo el paciente o al provocar determinado gesto en la zona, reaparecerá la molestia.

En dolores producidos por causas psicósomáticas, irradiaciones, agresiones poco intensas, dolores reumáticos, tras haber diseñado para ellos una buena táctica, podrán obtenerse resultados bastante buenos con períodos de analgesia de horas.

El tiempo de actuación o período de analgesia puede ser de un instante (hasta que el paciente se mueva), de unas 2 o 3 horas o, incluso, durante el resto de las horas del día hasta que el organismo se encuentra de nuevo cansado al final de la jornada y vuelven las molestias habituales (situaciones relatadas por los pacientes).

En ocasiones, el efecto es definitivo con una sola sesión, en general después de haber realizado una buena programación de aplicación, de colocación de electrodos, de corriente elegida, etc. y en dolores generados por agresiones químicas, isquémicas, edemas o inflamación, situaciones en que, al eliminar la causa de manera definitiva, se eliminarán sus respuestas defensivas.

La duración de las sesiones pueden ir desde 10 minutos diarios o días alternos hasta bastantes horas todos los días y al paciente se le podrá entregar el aparato con la idea de que se lo autoaplique (previa enseñanza del manejo) en su vida cotidiana cuando le duela o durante unas horas prefijadas, según la estrategia del tratamiento. Ésta fue la filosofía que provocó la aparición de los aparatos TENS o pequeños estimuladores portátiles en un bolsillo.

En resumen, a modo de protocolo, si en realidad se desean resultados aceptables, es importante:

- Partir de la familiarización y conocimiento del sistema nervioso.
- Conocer el comportamiento de las distintas terminaciones nerviosas.
- Saber qué tipo de mecanorreceptores inhiben el dolor de otros mecanorreceptores.
- Saber por qué se manifiestan los dolores en los tendones y fascias cuando el origen suele estar en contracturas musculares no dolorosas.
- Aprender a palpar y discriminar unos dolores de otros.
- Aprender maniobras biomecánicas que pongan de manifiesto los diferentes dolores.
- Tener claros los distintos orígenes del síntoma dolor (mejor dolores).
- Dominar y entender el manejo y la técnica de los equipos.
- Marcarse siempre estrategias y objetivos ante cada caso.
- Tener bien definidas las distintas tácticas de ataque a los dolores.
- Si no se obtienen resultados, buscar nuevas formas, etc.

En pocas palabras, hay que trabajar con la precisión que se le presupone al fisioterapeuta como técnico titulado en el tema.

Corrientes utilizadas para electroanalgesia

Las corrientes descritas a continuación se han utilizado y diseñado como estimuladoras del sistema nervioso sensitivo y no tanto del motor.

Trabert. Es una corriente de aplicación continuada formada por impulsos cuadrangulares de 2 ms de impulso, 5 ms de reposo, componente galvánico del 28,5 % y 142 Hz de frecuencia (Fig. 8-15). También se denomina ultraexcitante de Trabert por su fuerte estímulo sensitivo.

Leduc. Es una corriente de aplicación continuada formada por impulsos cuadrangulares de 1 ms de impulso, 10 ms de reposo, compo-

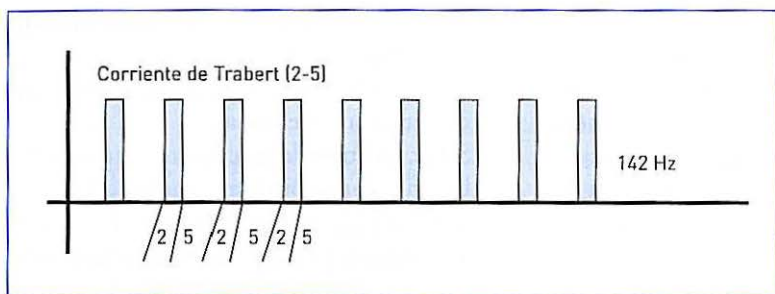


Figura 8-15. Corriente de Trabert.

nente galvánico del 10 % y 90 Hz de frecuencia (Fig. 8-16).

Le Go. Es una corriente antigua de aplicación continuada formada por impulsos de subida exponencial y bajada exponencial, con duraciones comprendidas entre 30 y 50 ms, y reposos de 50 a 70 ms, cuyas frecuencias oscilan entre 8 y 12 Hz procedentes de los viejos equipos que generaban sus impulsos por descarga de condensador (Fig. 8-17).

Tiratrón. Es una corriente de aplicación continuada formada por impulsos de 5 ms con subida brusca y bajada lenta, 15 ms de reposo, aproximadamente con el 16 % de componente

galvánico y 50 Hz de frecuencia. Se emplearon en su momento, coincidiendo con el diseño y la puesta en el mercado del componente electrónico denominado *tiristor*, pero han caído en desuso (Fig. 8-18).

Primeros aparatos de TENS de baterías. Es una corriente de aplicación continuada formada por impulsos cuadrangulares que son deformados por la bobina del transformador de salida (efecto de la inductancia) con una duración media de 1 ms y reposo regulable entre 8 y 1.000 ms, cuya frecuencia se puede fijar entre 1 y 100 Hz. Además, algunos permiten la programación de trenes o paquetes de impulsos, sobre todo, si se

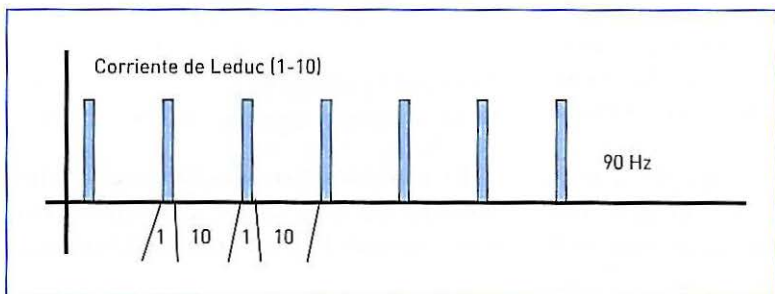


Figura 8-16. Corriente de Leduc.

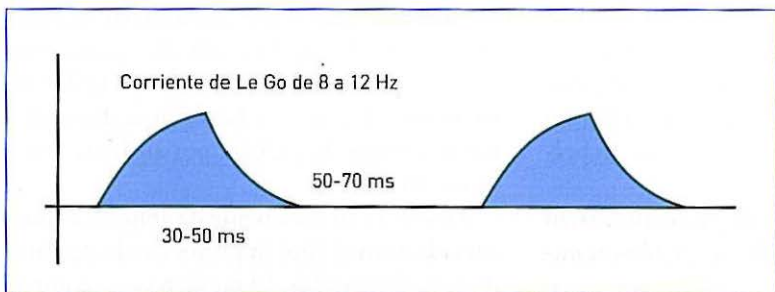
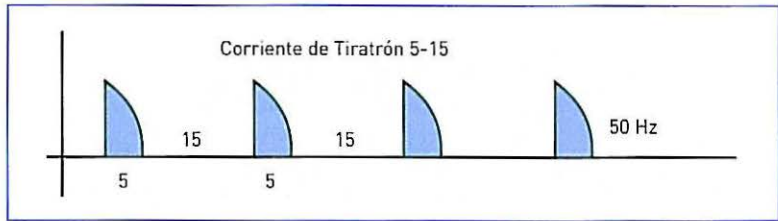


Figura 8-17. Corriente de Le Go.

Figura 8-18. Corriente de tiratrón.



hace referencia al aparato de TENS de primera generación, pues los últimos se presentan con bastantes variantes de corrientes «más o menos útiles» y varias salidas de aplicación (Fig. 8-19). Se polemizaba en su momento sobre las formas de onda más adecuadas, polémicas poco fiables dado que no se aportaba información sobre las características y circunstancias de la medición (v. «Medida de los pulsos y ondas en el osciloscopio», en el cap. 2 y Fig. 8-12).

Modernos aparatos de TENS y EMS. (Equipos para estimulación nerviosa transcutánea) tanto sensitiva como motora. Trabajan con impulsos derivados de una única fase o ambas fases (Figs. 8-12 y 8-20). Los tiempos de impulso son muy cortos, van de 0,05 a 1 ms (de 50 a 1.000 μ s) y reposos regulables para conseguir frecuencias que oscilen entre 1 y 250 Hz. Estos aparatos no suelen disponer de transformador a la salida, por lo que sus impulsos no sufren la deformación propia de la autoinducción. Asimismo, incluyen la posibilidad de aplicar trenes y barridos de FM.

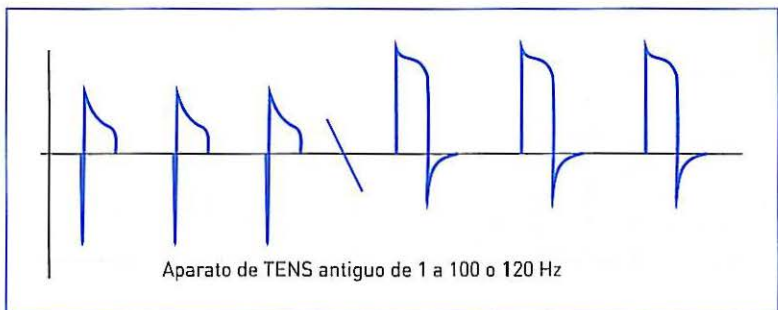
Diadinámicas. Son corrientes de aplicación continuada formadas por impulsos sinu-

soidales de 10 ms con polaridad y reposos de 10 ms o 0 ms, por lo que las frecuencias base son de 50 o 100 Hz, respectivamente (Fig. 8-21). Estas corrientes poseen un importante componente galvánico (v. cap. 9).

Aperiódicas de Adams o FM (Fig. 8-22). Es una corriente de aplicación continuada formada por impulsos cuadrangulares de 1 o 2 ms separados por reposos en constante variación de menos a más, seguidos por la vuelta al inicio, para repetir el proceso de nuevo empleando de media unos 10 s en la subida y en la bajada de frecuencia. Resulta una frecuencia variable en barrido ascendente y descendente entre 7 y 14 Hz, entre 10 y 120 Hz, etc. Sería muy interesante poder fijar los límites o extremos del barrido.

Modulaciones de media frecuencia. Es una corriente de aplicación continuada formada por impulsos de doble onda modulados en amplitud, que son el resultado de la interferencia de dos circuitos dentro del organismo o del circuito electrónico del equipo (Fig. 8-23; v. cap. 12). Las modulaciones pueden presentar varias formas: sinusoidal, cuadrangular, de duración variable o corrientes con tiempo de reposo variable y frecuencia oscilante en

Figura 8-19. Corriente de TENS deformadas por efectos de la impedancia. No se aclara si son ondas de voltaje o de intensidad.



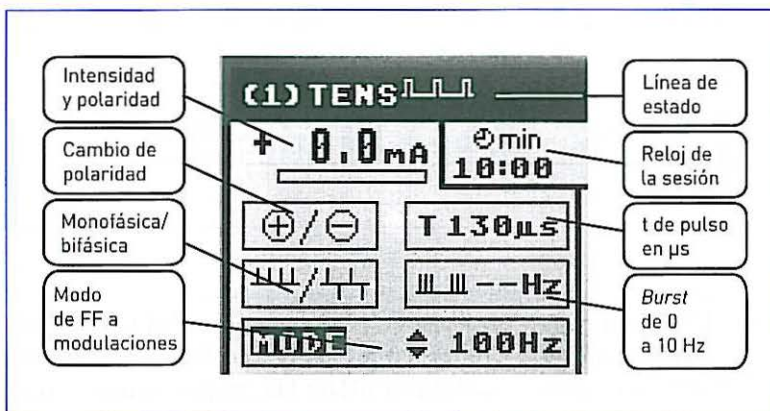


Figura 8-20. Pantalla de aparato de TENS de un estimulador estándar de sobremesa. FF: frecuencia fija.

barridos de ascensos y descensos (según el margen elegido) que, a modo de ejemplo, podrían ser: 0-100 Hz, 0-10 Hz, 10-80 Hz, 80-100 Hz, 100-250 Hz, 0-250 Hz o sin barrido en cualquier punto fijo de 0 a 250 (según el equipo).

Aplicación de la portadora de media frecuencia o de corrientes interferenciales sin modulación, es decir, con modulación a 0 Hz (Fig. 8-23).

Corriente mega-A o corriente alterna de 5.000 Hz. Es la misma que la portadora de

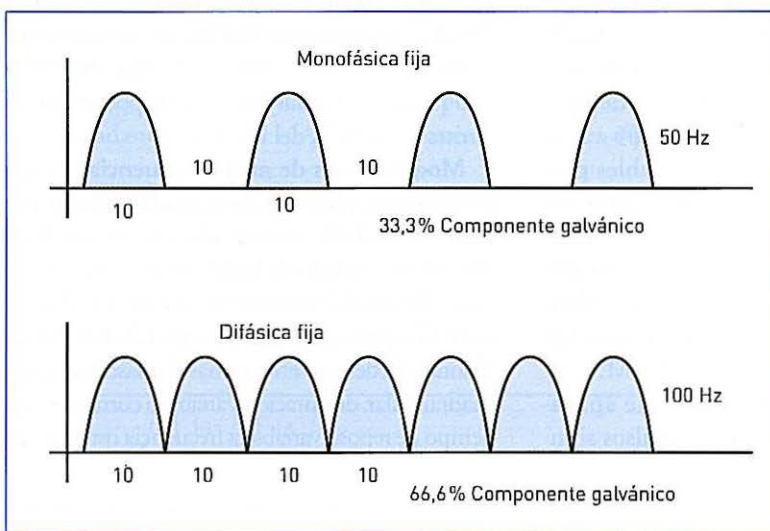


Figura 8-21. A modo de ejemplo, dos de las corrientes diadinámicas.

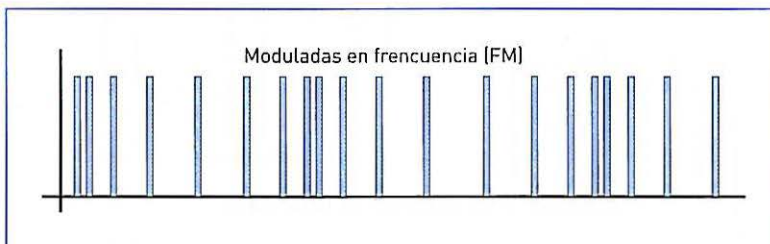


Figura 8-22. Aperiódicas de Adams o FM.

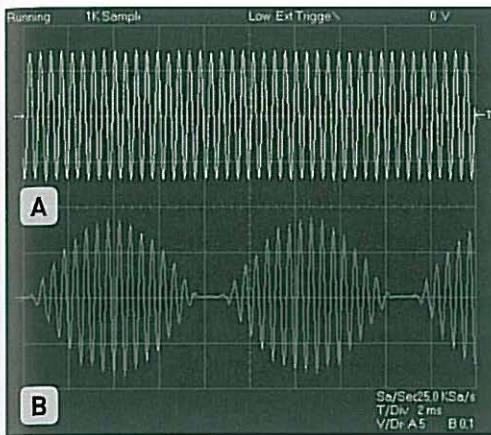


Figura 8-23. A) Portadora de media frecuencia sin modular o con modulación 0. B) Modulaciones de baja frecuencia con portadora de media.

media frecuencia sin modular o modulación 0. No tiene por qué cumplirse la exigencia de los 5.000 Hz, pues entre 4.000 y 6.000 Hz funciona prácticamente igual. Si se dispone de un equipo de media frecuencia, se posee la corriente mega-A (Fig. 8-23 A).

EXPLORACIÓN DE LOS DOLORES

Según el punto de vista de la fisioterapia, la información que procede de la historia clínica sobre el dolor como síntoma no es suficiente. Debe modularse y matizarse esta información de acuerdo con los requerimientos que exigen nuestras técnicas. Hay que aplicar electrodos y el fisioterapeuta debe decidir su mejor localización en los puntos más correctos, pues no sirve cualquiera. Por ello se requiere precisar el punto exacto de dolor, su causa, su estructura anatómica, la situación del proceso y el aspecto del *locus dolendi*.

Se procederá a despejar la zona que debe tratarse, preguntar al paciente, interpretar con precisión sus explicaciones, observar y, sobre todo, palpar la zona, efectuar una exploración biomecánica y funcional y, de manera muy importante, buscar causas a cierta distancia de la lesión para descartar altera-

ciones biomecánicas que puedan influir en la patología.

Para un fisioterapeuta, el diagnóstico de gonalgia no tiene demasiado significado. Al solicitar al paciente que indique dónde le duele, hay que repetir la pregunta e indicar que lo señale con la mano. Se prestará atención a sus palabras, pero, sobre todo, a su lenguaje gestual, dónde y cómo lo indica en la respuesta a un segundo requerimiento. Lógicamente se continuará preguntando al paciente para que explique sus sensaciones, los momentos de dolor, los gestos que lo provocan, el mecanismo de la lesión y, en definitiva, todo aquello que conduzca a establecer un adecuado diagnóstico fisioterápico del problema y que permita establecer la adecuada estrategia de tratamiento.

Si a un paciente se le pide que señale con la mano dónde le duele, puede indicarlo de múltiples formas. Así pues, si se toma como ejemplo una rodilla, los pacientes señalarán sus síntomas de dolor de múltiples formas (Fig. 8-24).

(Fig. 8-24 A) El paciente señala por encima del polo superior de la rótula y presiona para alcanzar profundidad. Ello puede indicar problemas en los fondos de saco suprarrotulianos o posibles desgarros en las inserciones del cuádriceps. Con la exploración se averiguará y el tratamiento se adaptará al proceso.

(Fig. 8-24 B) Este gesto indica que los problemas de dolor proceden de la cara inferior de la rótula y pone de manifiesto posibles condropatías femororrotulianas. La exploración lo confirmará y condicionará la fijación de electrodos y la técnica correspondiente.

(Fig. 8-24 C) En este caso, el paciente señala a punta de dedo la tuberosidad de inserción del tendón rotuliano sobre la tibia (enfermedad de Osgood y Schlatter). Quizás está indicando problemas de entesitis en la inserción o, incluso, fisuras de la tuberosidad. Se confirmará con la exploración y condicionará las técnicas de tratamiento.

(Fig. 8-24 D) El paciente señala a punta de dedo problemas en el polo inferior de la rótula

o segmento más proximal del tendón rotuliano. El diagnóstico diferencial lo establecerá la exploración y el tratamiento se adaptará al proceso.

(Fig. 8-24 E) Se aprecia cómo el paciente establece límites del dolor con una mano y con la otra precisa su recorrido y localización. La exploración detallada indicará la técnica más adecuada ante la tendinitis del tendón rotuliano o sus posibles roturas. La ecografía musculoesquelética es una gran herramienta exploratoria y es necesaria para la técnica de microelectrólisis percutánea guiada por ecografía.

(Fig. 8-24 F) El paciente comenta que tiene dolor interno por «dentro de la rodilla» y la abraza con los bordes de ambas manos, lo que indica un corte transversal a la altura de la línea articular. Esta maniobra hará pensar en problemas artrósicos, meniscales, condropatías tibiofemorales, problemas del complejo ligamentario de los cruzados, etc. La exploración guiará hacia el tratamiento antiálgico más correcto.

(Fig. 8-24 G) A punta de dedo —de dos dedos— está señalando justo el ligamento lateral interno de la rodilla. Esta maniobra en general conduce a pensar en una lesión de éste en mayor o menor grado, que lo establecerá la consiguiente exploración.

(Fig. 8-24 H) Se está marcando el lugar del ligamento lateral externo de la rodilla, lo que supone que los problemas de dolor pueden proceder de éste, pero no pueden descartarse problemas de tendinitis, de entesitis, dolor procedente de la sindesmosis tibioperonea superior, etc. La exploración determinará el punto y causa concreta, así como el tratamiento.

(Fig. 8-24 I) El paciente comenta y señala dolor profundo en la cara posterior de la rodilla que puede hacer pensar en un quiste de Baker, lesiones del músculo poplíteo, lesiones de los gemelos en su origen, problemas meniscales y ligamentosos, etc. La exploración delimitará el problema, nada fácil en esta zona. Lógicamente, el tratamiento también estará condicionado por la concreción de la patología.

(Fig. 8-24 J) El paciente está explicando e indicando que el dolor es profundo, sobre la línea articular, y no precisamente longitudinal, sobre el ligamento lateral interno de la rodilla (aunque también genera dolor). Este dolor suele indicar problemas sobre el menisco interno, condropatías femorotibiales en el compartimento interno de la rodilla o procesos artríticos (también artrósicos) del compartimento interno de la rodilla.

(Fig. 8-24 K) Una mano señala un punto concreto como origen del dolor mientras la otra realiza un gesto de descenso por la cara anteroexterna de la pierna. Quizá se está ante problemas de la sindesmosis proximal tibioperonea (también se hallarán en la distal) que irradia dolor sobre la membrana interósea, tendinitis o, incluso, pinzamiento del ciático poplíteo externo.

(Fig. 8-24 L) Esta forma de señalar y de explicar el dolor hará pensar en el cóndilo interno con un posible edema óseo o en una entesitis del tubérculo de inserción del aductor largo. La exploración conducirá hacia el tratamiento preciso según el caso.

Además de las apreciaciones gestuales del paciente, se continuará preguntando sobre gestos que lo generan, circunstancias y momentos del dolor. Se procederá a la exploración palpatoria y a las maniobras que provocan el síntoma. Una vez que se haya llegado a la conclusión, se decidirá la estrategia y la correspondiente técnica.

Debe avisarse a los pacientes de que las corrientes que producen cambios metabólicos, por componente galvánico, suelen causar molestias durante las horas siguientes a modo de reacción. Este comentario es muy importante para evitar alarma en el paciente si así ocurre.

Se observarán las respuestas y se decidirá si se continúa con la estrategia o se modifica. El número de sesiones y las modificaciones en las técnicas se adaptan a la respuesta terapéutica.

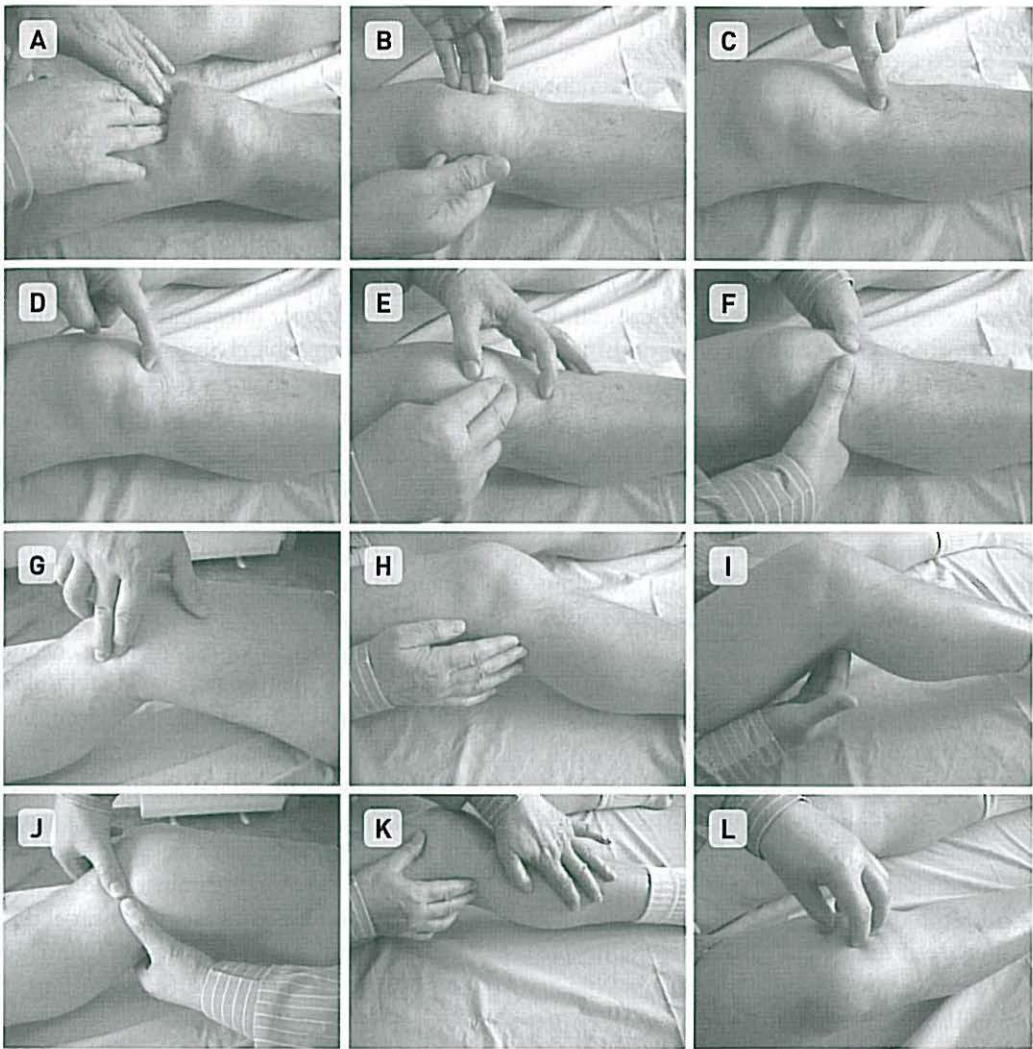


Figura 8-24. Algunas formas de cómo señalan los pacientes los dolores en la rodilla.

ELECTROANALGESIA GUIADA POR GALVANOPALPACIÓN

Es una antigua técnica que dejó de usarse y que últimamente se pretende recuperar, pero adaptándola a las nuevas posibilidades técnicas. Consiste en realizar una galvanopalpación, localizar el punto doloroso (o el punto que lo genera), detener el electrodo en el punto localizado y proceder a retocar parámetros para aplicar un tratamiento.

Puede llevarse a cabo con varias metodologías (v. «Teoría del dolor por inervación secundaria», antes), pero el texto se centrará en:

- aplicación combinada de electroestimulación y ultrasonidos,
- electroanalgesia con guantes conductores y
- electroanalgesia con electrodo puntual.

Aplicación combinada de electroestimulación y ultrasonidos

Esta técnica dirigida a efectos antiálgicos se refiere a la aplicación de corrientes analgésicas vía sensitiva y/o motora al mismo tiempo que se deposita la correspondiente dosis de ultrasonidos. Lógicamente, por lo que a la corriente se refiere, el electrodo activo es el cabezal de ultrasonidos (v. «Tratamiento combinado de ultrasonidos con electroterapia», en el cap. 15).

Dado que el cabezal es metálico y la única separación entre la piel y el cabezal es el gel transmisor de ultrasonidos, la intensidad de la corriente debe elevarse justo hasta sentir el calambre sin dolor. Además, deben evitarse las corrientes con alto componente galvánico y usar, en su lugar, las bifásicas o alternas de media frecuencia.

Está indicada esta metodología en zonas edematosas, con induración cronificada o inflamación crónica, porque actúa:

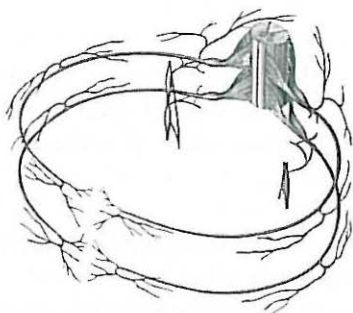
- Mediante la deformación provocada a los tejidos con el movimiento del cabezal.
- Por el efecto energético y descoagulante del ultrasonido.
- Por el estímulo sensitivo de la corriente que provoca un reflejo miotático de fibra lisa.

- Mediante las corrientes aplicadas que contribuirán a una mejor evacuación de los líquidos estancados, facilitada por el aumento de dilución, debido a los ultrasonidos.
- Mediante el efecto energético del ultrasonido más el estímulo motor de vibraciones musculares. Es muy útil si se utiliza en dolores de tipo mecánico.

También puede ser interesante el predominio del efecto corriente sobre el efecto ultrasónico. Así, si se busca, por ejemplo, analgesia en un dolor irradiado por una metámera (Fig. 8-25), tan sólo hay que localizarla y desarrollar el tratamiento con los retoques correspondientes de la corriente:

- La potencia de ultrasonidos queda en un segundo plano y se deja en valores bajos.
- A modo de galvanopalpación, se desplaza el cabezal libremente por la zona hasta encontrar el punto que genera e irradia el dolor mediante una corriente bastante excitante (p. ej., la de Trabert).
- Una vez que se ha hallado el lugar, se mantiene el electrodo y se retocan parámetros para aplicar una portadora de media frecuencia en unos 4.000 Hz a fin de eliminar el dolor.
- Se eleva la intensidad hasta provocar el dolor, pero en niveles tolerables; se mantiene la postura y la intensidad (2 o 3 minutos)

A



B



Figura 8-25. A) Esquema metamérico. B) Galvanopalpación y tratamiento con el cabezal de ultrasonidos.

hasta que el paciente manifieste reducción del dolor.

- Se aumenta la intensidad de nuevo para recuperar la sensación de dolor y se espera a que se reduzca otra vez. Así se procede durante varias secuencias.
- Después de esta primera fase a cabezal fijo, se inician los deslizamientos por el trayecto metamérico (durante 2 o 3 minutos) de ida y vuelta para dejar la zona adormecida. Se retoca la intensidad a valores tolerables, pero sin desencadenar dolor.

Estas técnicas basadas en la galvanopalpación son muy interesantes y «suelen reservar sorpresas» en el sentido de que se encuentran con cierta frecuencia puntos de dolor irradiado en lugares poco esperados. Por ello, en la exploración previa se consideran la inervación primaria, la inervación secundaria, los puntos gatillo, las zonas neurolinfáticas de Chapman, las hipertonías de husos neuromusculares, etc.

El empleo de la portadora de media frecuencia con modulación 0 (sin modular) produce resultados excelentes en cierto tipo de dolores. Ésta es la llamada corriente mega-A (v. cap. 12).

Electroanalgesia con guantes conductores

En lugar de usar el cabezal de ultrasonidos como electrodo móvil, pueden emplearse unos guantes conductores a modo de electrodos o

manualmente desplazar un electrodo estándar. Cada modalidad tiene sus ventajas y desventajas, aunque por lo general dependerá del material disponible. El guante conductor permite usar el tacto y sus ventajas; el cabezal de ultrasonidos da mucha movilidad, pero se pierde el componente de palpación; el electrodo deslizante es el recurso más simple e inmediato (Fig. 8-26). Otra opción puede ser el electrodo puntual.

Tanto con el guante conductor como con el electrodo estándar, hay que calzarse previamente un guante de vinilo o de látex que impida que la electricidad se dirija hacia el terapeuta.

En caso de utilizar ambos guantes conductores, uno hará de activo y el otro de indiferente. En general, el activo será más pequeño que el indiferente. Por ello se intentará que esto se cumpla al colocar las manos. El apoyo amplio lógicamente funciona como electrodo grande o indiferente; el apoyo con las yemas de los dedos lo convierte en electrodo pequeño, activo y casi puntual.

En caso de usar sólo un guante (explorando la espalda), el otro electrodo será estándar e indiferente, que suele situarse bajo el abdomen sujeto con el peso del propio paciente. Si en lugar del guante, se procede con un electrodo estándar, en general el otro irá bajo el abdomen. Si la exploración fuera, por ejemplo, un miembro inferior, el electrodo indiferente puede fijarse sobre la zona lumbar mejor que sobre el abdomen.



Figura 8-26. A) Guantes conductores conectados a cada polo del estimulador. Entre la piel y el guante se calzará otro aislante. B) Con el segundo y el tercer dedos se localiza un punto de irradiación al brazo. C) El electrodo activo se desliza y se presiona para localizar los puntos o las zonas subsidiarias de tratamiento.

Se seguirá el mismo protocolo que con el cabezal de ultrasonidos, es decir, primero se dedica un tiempo a la búsqueda para proceder al tratamiento después.

La corriente de búsqueda debe poseer un importante efecto sensitivo a fin de que, con poca intensidad, el estímulo se convierta en doloroso al pasar sobre puntos de hipersensibilidad; por ejemplo, la corriente de Trabert. Sin embargo, para el tratamiento puede aplicarse una de media frecuencia (o de baja si no se dispone de media frecuencia).

Cuando se aplica baja frecuencia en modo de tratamiento, es mejor que ésta sea bifásica y una frecuencia entre 80 y 150 Hz, y se buscará desencadenar los dolores referidos que manifiesta el paciente. Así se intentará provocar saturación sensitiva hasta que el paciente manifieste disminución del síntoma. Se eleva de nuevo la intensidad, reaparece el síntoma, se espera, desaparece el síntoma, se eleva de nuevo y después de varios intentos se retira la aplicación con sensación de alivio y de descarga miotensiva en el paciente.



Figura 8-27. Tratamiento de epicondilitis con guantes conductores previa galvanopalpación. La mano izquierda hace de indiferente y la derecha de activo.

En la **figura 8-27** se está tratando una epicondilitis cuyo origen se presume por irradiación del plexo; así, la mano izquierda trabaja de indiferente y la derecha de electrodo activo. En caso de emplear ambas manos como electrodos, se requiere un ayudante para los retoques en la intensidad o un sistema de pedales para evitar el ayudante. La otra opción consiste en dejar una mano libre mediante un electrodo estándar y la otra mano enguantada, y así, con la libre pueden realizarse ajustes en el estimulador.

Debe recordarse que las corrientes de aplicación mantenida o frecuencia fija no deben provocar respuestas motoras, salvo que sean mínimas o su frecuencia se halle entre 1 y 6 Hz para vibraciones musculares.



Vídeo 8-2. Electroanalgesia metamérica

Electroanalgesia con electrodo puntual

El electrodo puntual es muy útil para tratar puntos gatillo miofasciales, aunque con los guantes conductores también puede llevarse a cabo con la punta del dedo. Antes se ha descrito que muchos dolores tienen su origen en alteraciones mecánicas miotensivas y sus consecuencias sobre raíces nerviosas. En este sentido son muy aprovechables como analgesia las técnicas de inhibición por hipertonías musculares.

Se procederá fijando un electrodo amplio sobre el abdomen o sobre la zona lumbar a modo de electrodo indiferente, en caso de corriente con polaridad [+]. El puntual será el activo, que se situará sobre un punto gatillo miofascial previamente localizado por palpación. Pueden utilizarse varias corrientes, pero una muy típica es la frecuencia fija del aparato de TENS a unos 120 Hz, tiempo de pulso en unos 200 μ s, que puede ser monofásica con [-] o bifásica consecutiva.

El objetivo es aplicar una corriente sobre la placa motora (o varias placas) del músculo que

debe inhibirse para relajarlo, elongarlo y romper el círculo vicioso α - γ (alfa-gamma) de hipertonia. Se pondrán de manifiesto irradiaciones que coinciden con dolores irradiados manifestados por el paciente. Los efectos conseguidos se podrían atribuir a los propios de la técnica de Jons por presión del electrodo puntual, pero merece la pena hacer comprobaciones repetidas, con corriente y sin ella, para valorar diferencias (Fig. 8-28).

Se localiza bien el electrodo en el punto, se presiona de forma moderada para que el paciente indique su situación correcta, la otra mano palpa y controla el comportamiento del músculo, no se mueve el electrodo puntual y se eleva la intensidad suavemente hasta que aparezca **respuesta motora leve**. Con esa intensidad se espera a que desaparezca la respuesta contráctil provocada y su posterior relajación muscular. Una vez que se nota que cedió la contracción y se elongó más de su punto de inicio, se eleva la intensidad de forma lenta hasta provocar de nuevo la respuesta motora leve. Se mantiene la intensidad nueva y se espera el cese de contracción y la nueva relajación.

Durante estas maniobras eléctricas, pueden añadirse maniobras de elongación suave dirigidas con la mano libre y con las órdenes oportunas al paciente siempre que no se provoque nueva actitud de defensa en la zona.

Por lo general, a partir del tercero o cuarto intento, se notará cómo el músculo cede de forma llamativa cuando se relaja. Después de cinco o seis intentos, se retira la aplicación y se comentan sensaciones, la liberación de tensión y la nueva movilidad con el paciente. Sería interesante disponer de un ayudante que ajuste la intensidad según se le vaya indicando durante la terapia.

Si el tratamiento fuera sobre los trapecios u otros músculos de localización homolateral, en general procede tratar ambos lados. Asimismo, puede ocurrir que la zona esté en un proceso agudo y de hipersensibilidad, con respuesta negativa ante la técnica. En este caso cabe esperar a que ceda la agudeza de la enfermedad o intentarlo con corriente de media frecuencia modulada a unos 100 Hz (por lo general, la media frecuencia no permite superar este valor), forma de modulación cuadrada de unos 2 ms y portadora de unos 4.000 Hz. Si se pretende un alcance superficial de la corriente, se usará baja frecuencia, pero si se necesita profundidad, se llevará a cabo con media frecuencia.

ELECTROANALGESIA POR VIBRACIÓN MUSCULAR

La teoría de la analgesia que avala el estímulo de liberación de endorfinas a nivel encefálico

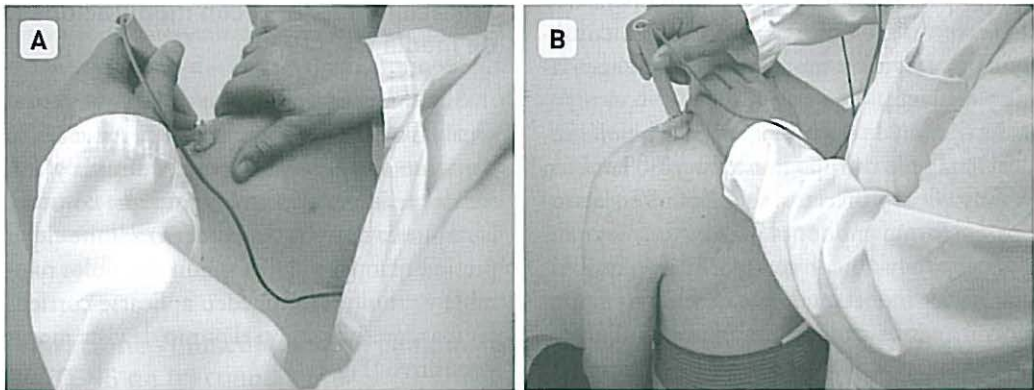


Figura 8-28. A) Sobre un punto gatillo del trapecio se controlan la leve respuesta motora y la relajación. B) Se va guiando al paciente hacia una suave elongación sin perder el control y prestando atención a las posibles reacciones de defensa.

cuando se aplica el aparato de TENS con *burst* de 2 Hz puede continuar siendo teoría. En realidad, al aplicar un aparato de TENS con *burst* (no tiene por qué coincidir con 2 Hz) a la frecuencia que más relaje la musculatura estimulada, se consiguen niveles de analgesia muy eficaces a nivel local en dolores causados por hipertonías musculares, ya que con la vibración se rompe el círculo vicioso de contractura α - γ .

Los cambios de tensión repetitiva y mecánica sobre músculo, husos neuromusculares, fascias, tendones y cápsulas articulares inducen a la reducción del tono muscular y al alivio de dolores. Para reforzar este enfoque mecánico y no endorfinico, simplemente hay que preguntarse: ¿Por qué se realiza masaje vibratorio? ¿Por qué se lleva a cabo movilidad pasiva articular íntima? ¿Por qué se lleva a cabo movilidad pasiva con vibración y tracción articular? ¿Por qué se realiza elongación pasiva con vibración manual? ¿Por qué liberan el hombro los ejercicios pendulares desgravados del miembro superior? ¿Por qué se realizan oscilaciones rítmicas? Si se razona un poco, podrá concluirse que la solución suele estar más cercana al foco de enfermedad y no es necesario subir a la bioquímica del encéfalo.

Las frecuencias que más relajan la musculatura estimulada se ajustan de acuerdo con la percepción del paciente. Éstas suelen oscilar entre 1 y 6 Hz (3 o 4 Hz son las más elegidas por los pacientes). Lógicamente, la intensidad debe elevarse lo suficiente como para conseguir una respuesta motora clara, pero agradable y relajante.

La fijación de electrodos suele ser bipolar sobre el músculo o grupo muscular, pero también es muy eficaz y precisa si se aplican los electrodos en forma monopolar. Esta técnica con guantes conductores o con cabezal de ultrasonidos es muy interesante. La aplicación monopolar con guantes conductores puede modificarse sobre la marcha y centrarse un par de minutos en el trayecto nervioso, otro par de minutos en el punto gatillo, otro par en la máxima vibración, en cambiar de músculo o banda muscular,

etc., es decir, se adapta la técnica y la sesión a los resultados observados en tiempo real.

La liberación miofascial e hipertensiva descarga la bioquímica del músculo y libera compresiones nerviosas de posibles raíces atrapadas; influye (además de hacerlo en el origen biomecánico del dolor) en el bioquímico y en el neurológico. Además de la respuesta inmediata, se apreciará que posibles tendinitis y entesitis al cabo de un tiempo se reducen de forma importante. Es una técnica muy eficaz y pueden apreciarse sus resultados de forma inmediata si se explora antes y después de la sesión.



Vídeo 8-6. Vibraciones musculares

Ante una exploración previa en que se detecta hipertonía muscular, como posible causa de dolor, y se decide esta técnica, hay que plantearse la corriente que se aplicará porque se dispone de varias:

- Modulaciones de media frecuencia.
- Aparato de TENS en *burst*.
- Aparato de TENS en frecuencia fija entre 1 y 6 Hz.
- Diseño de la corriente en T/R con diferentes pulsos en forma y tiempo, así como reposos ajustados a la frecuencia que elija el paciente.

Vibración muscular con modulaciones de media frecuencia

Si el proceso es bastante doloroso e hipersensible a la palpación y a la deformación, la corriente será agradable, pero profunda y con suficiente intensidad como para que conserve la respuesta motora. Si el proceso admite cierta presión manual y deformación con dolor tolerable y cronificado, pueden aplicarse corrientes más agresivas según el punto de vista motor y sensitivo (Fig. 8-29).

Frente a la hipersensibilidad es mejor iniciar con modulaciones de media frecuencia, forma sinusoidal, unos 10 ms de modulación, la inten-

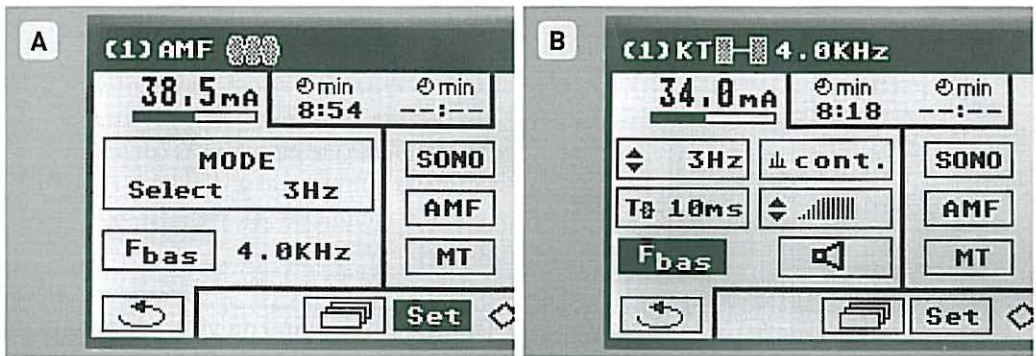


Figura 8-29. A) Modulaciones sinusoidales de media frecuencia con 4.000 Hz de portadora y 3 Hz de modulación. B) Modulaciones cuadradas en la corriente de Kots en modo continuo, con portadora de 4.000 Hz y 3 Hz de modulación.

sidad que genere vibración clara, pero que la tolere el paciente, y la frecuencia que éste elija. Si se desean respuestas más agresivas según el punto de vista motor, se cambia la forma de modulación a cuadrada y, de forma progresiva, puede reducirse el tiempo entre unos 2 y 4 ms.

Vibraciones musculares con el aparato de TENS en *burst*

El aparato de TENS en modo *burst* es más agresivo que las modulaciones de media frecuencia. Los *burst* no suelen disponer de ajuste en anchura, pero disponen de frecuencia. Se ajusta la frecuencia de *burst* (otra frecuencia es la interna del *burst*), que el paciente elija cuando se prueben varias entre 1 y 6 Hz.

Si el aparato de TENS sólo dispone de la opción de *burst* en 2 Hz, se utilizará ésta, pero si dispone de varias frecuencias de *burst*, se establecerá un barrido por ellas hasta encontrar la que el paciente indique como más relajante. Dentro del *burst* debe haber una frecuencia que oscile entre 50 y 100 Hz (Fig. 8-30).

Vibraciones musculares con el aparato de TENS en frecuencia fija

Si se decide usar el aparato de TENS en modo continuo o frecuencia fija, se ajustan los

pulsos a la máxima anchura posible (entre 250 y 400 μ s según los aparatos) y se eleva la intensidad lo suficiente como para la respuesta deseable y soportable y la frecuencia elegida por el paciente entre 1 y 6 Hz. Este tipo de aplicación se siente como picorazos bastante molestos y secos, que requieren mucha intensidad para provocar la respuesta motora pretendida y que es bastante frecuente que el paciente solicite otra modalidad más tolerable (Fig. 8-31).

Vibración muscular con corrientes autodiseñadas

Si se pretende la vibración con el estimulador en el modo en que se elige de forma libre el pulso, su polaridad, su forma, su tiempo y su reposo, debe saberse que las formas cuadradas son más molestas que las redondeadas o triangulares (a nivel sensitivo), pero en respuesta motora las cuadradas son las más eficaces. El tiempo de pulso debe oscilar entre 1 y 10 ms (10 ms tiene más carga de molestia sensitiva, pero es más eficaz en motricidad). Se ajustará el reposo para que aporte frecuencias que oscilen entre 1 y 6 Hz (son habituales reposos de 500, 400, 350, 300, 250 y 200 ms). Esta opción de corriente autodiseñada permite gran capacidad de maniobra, pero requiere saber

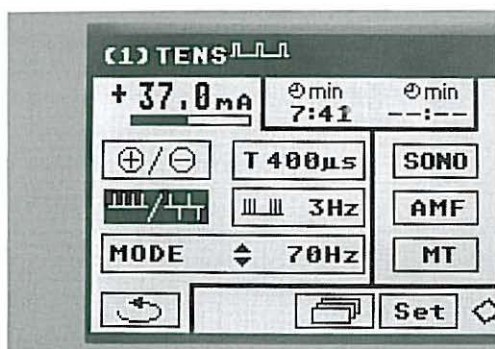


Figura 8-30. Burst de 3 Hz en modalidad de TENS con frecuencia del burst en 70 Hz y 400 µs de tiempo de pulso. Polaridad monofásica.

cómo debe calcularse la frecuencia aunque el equipo no la indique (Fig. 8-32).

8

Polaridad de las corrientes para vibración muscular

En cuanto a la polaridad de estas corrientes, si se está en media frecuencia, no procede referirse a ella porque no se manifiesta, pero en baja frecuencia (aparatos de TENS y corrientes autodiseñadas) dependerá de lo que mejor acepte el paciente y de los objetivos del fisioterapeuta. Si se pretende eficacia contráctil, tratará de aplicarse monopolar con el [-] en el electrodo activo; si se desea que los pul-

sos impares consigan buena contracción y los pulsos pares una contracción menor, se eligen bifásicas desfasadas y, por último, si lo importante es convertir la corriente en más soportable, se eligen bifásicas consecutivas si son de las que el pulso se divide en el 50 % de anchura, como fase [+], y el otro 50 % en la fase [-].

Tiempo de sesión con vibraciones

El tiempo de sesión que se puede dedicar para las vibraciones no es excesivo (entre 5 y 10 minutos) ya que dependerá del estado del paciente y de su respuesta. También la vibración suele aplicarse como terapia previa de preparación de la musculatura para realizar *a posteriori* otra más agresiva o como terapia final, para descargar la musculatura de un esfuerzo realizado inmediatamente antes.

ELECTROANALGESIA CON LA MODULACIÓN 0

Aunque ya se ha hecho referencia, en éste y en otros capítulos (sobre todo, en el cap. 12), a la portadora de media frecuencia sin modular, también denominada *mega-A*, como una corriente muy eficaz para analgesia, merece la pena dedicarle un epígrafe para

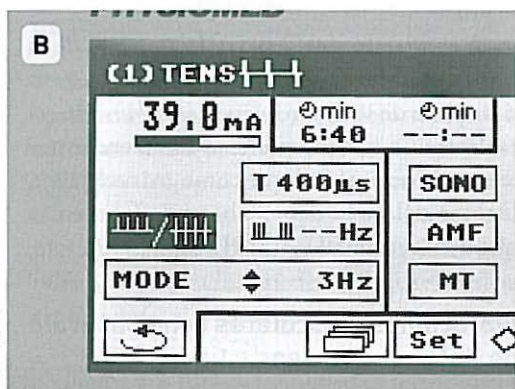
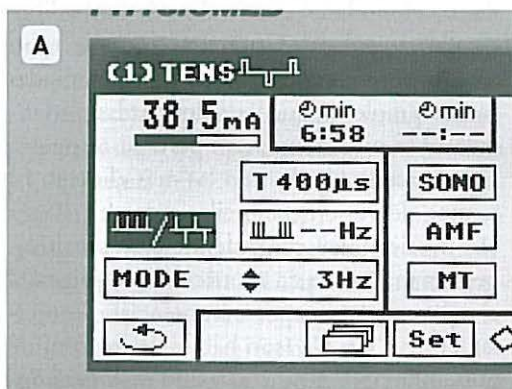


Figura 8-31. A) Corriente de TENS en modo continuo, a 3 Hz, 400 µs de anchura de pulso y bifásica desfasada. B) TENS a 3 Hz, 400 µs, pero bifásica consecutiva. También se cuenta con la opción de monofásica.

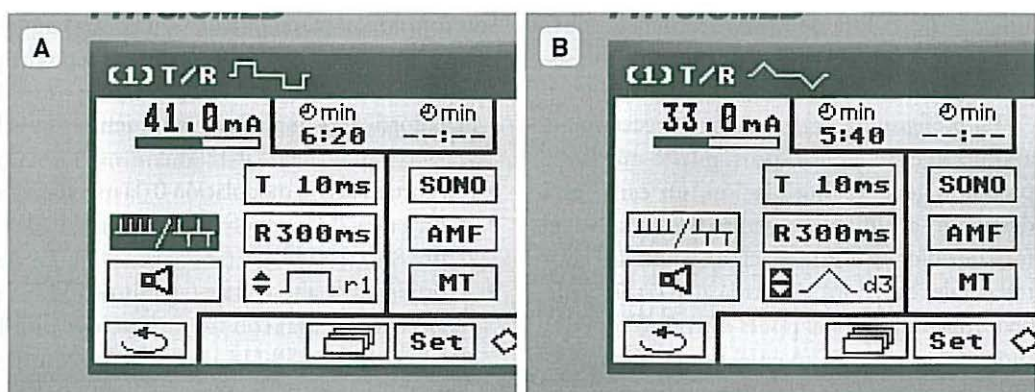


Figura 8-32. A) En T/R se ajustan pulsos cuadrangulares de 10 ms con 300 ms de reposo (unos 3 Hz) y en bifásica desfasada. B) Igual que en A, pero, para que resulte más tolerable la corriente, se han ajustado pulsos triangulares.

indicar alguna aplicación y modo de uso, pues se le llega a atribuir efecto de pseudoanestesia.

Se considera que aplicar alrededor de 5.000 Hz de corriente alterna sin modular tiene un fuerte efecto analgésico, incluso en dolores agudos. Por ello, una de sus aplicaciones puede ser el uso simultáneo con otras terapias de tipo de movilidad activa o pasiva. En las figuras 8-33 y 8-34 se aprecia un tratamiento manual pasivo forzado en un paciente recién intervenido por artroplastia de codo.



Figura 8-33. Maniobra de pasivo forzado para ganar grados de flexión posterior a una artroplastia de codo. Las ventosas aplican corriente en modulación 0 a 4.000 Hz.

Lógicamente, se presupone dolor intenso a las pocas horas de intervenir, así como en los días siguientes, y para realizar terapia forzada destinada a mantener y aumentar la amplitud articular, con el objetivo de reducir de forma importante la hipersensibilidad al dolor, se



Figura 8-34. Aplicación de modulación 0 para reducir dolor, posterior a una intervención de artroplastia de codo, a fin de ganar amplitud articular en extensión con pasivos forzados.

aplica la portadora de media frecuencia sobre la misma articulación para que el paciente soporte mejor el dolor de forma considerable.

En las figuras 8-33 y 8-34 se aprecia que la aplicación es tetrapolar, pero, puesto que no se pretende generar modulación, un canal está destinado a influir de forma directa sobre el foco de dolor en la articulación (electrodos contralaterales del codo) y el otro canal está situado de forma longitudinal por el miembro superior (uno en la mano y otro en el hombro) para influir en los trayectos nerviosos proximales al codo, a la altura del codo y distales al codo, pero como canales independientes, no como una corriente tetrapolar que persigue la interferencia o modulación dentro del paciente.

Además de usarlo en este ejemplo, se encontrarán otros en que la intervención manual pasiva o activa provoque dolor y actitud de defensa. Sin embargo, procede recordar que los límites de fuerza aplicada no se pueden obviar, aunque el paciente manifieste menos molestias por la corriente, ya que también pierde sensibilidad y propiocepción, circunstancia que puede conducir a exceso de confianza con las maniobras y rozar el consiguiente riesgo de lesión.

MANIOBRAS DE CYRIAX CON CORRIENTES

Otra técnica muy interesante y efectiva como analgesia e inhibición de hipertonías musculares consiste en localizar adherencias, fibrosis y fibro-

sitis para aplicar maniobras de Cyriax a la vez que se inyecta una corriente sobre la zona para producir un efecto de adormecimiento local.

Las corrientes de mejor rendimiento son:

- La portadora con modulación 0 (la más eficaz).
- Corrientes de media frecuencia moduladas entre 80 y 200 Hz.
- Corrientes de alto voltaje (aparato de TENS en frecuencia fija) con frecuencias que oscilan entre 80 y 150 Hz.

En la figura 8-35 se aprecian tres maniobras de Cyriax: en A, sobre fibrosis del borde interno de la escápula; en B, sobre el piramidal, y en C, liberación de adherencias profundas en el tendón de Aquiles.

Si se observa la figura 8-35 puede observarse que:

- En A, ambas manos son electrodos; la mano derecha interviene como indiferente y, si la corriente es alterna, no hay polaridad.
- En B, un electrodo se sitúa bajo el abdomen (el indiferente) y la mano es el activo. La otra mano queda libre para manejar del equipo.
- En C son necesarias ambas manos para esta maniobra, por lo que en general se requiere de un auxiliar.

Si las corrientes no se aplican sobre (o cerca) de puntos motores, no es fácil desencadenar contracción muscular, pero puede presentarse

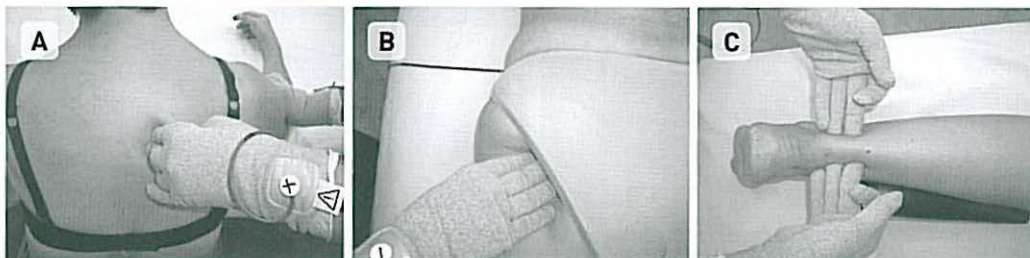


Figura 8-35. A) Cyriax sobre el espacio interescapular. B) Se busca el piramidal para aplicar Cyriax. C) Fricciones paratendinosas a fin de liberar adherencias del tendón de Aquiles.

según la zona o por estimular nervios motores próximos. No debe olvidarse que ahora no se buscan puntos gatillo. Por lo tanto, puesto que las corrientes elegidas en este caso son de aplicación continuada, debe evitarse la respuesta motora.

La intensidad se eleva hasta que el paciente note un aumento de la molestia propia de la presión manual, pero se observará que, antes de 1 minuto, la corriente adormece la zona y puede elevarse la intensidad hasta reactivar de nuevo un dolor eléctrico moderado y tolerable.

Al cabo de 2-3 minutos de la maniobra, el paciente muestra alivio y sensación de adormecimiento sobre el punto tratado. Este referido adormecimiento permite que la maniobra de Cyriax pueda ser más intensa, efectiva y liberadora aunque requiere prudencia para evitar que el exceso de confianza con las maniobras de Cyriax terminen siendo excesivas y sin control porque el paciente no puede informar al 100 % de lesiones leves que se le puedan causar.

En caso de no disponer de guantes conductores, puede usarse en su defecto el cabezal de ultrasonidos o electrodo puntual, pero se perderá el componente de tacto localizador de estructuras que se mantiene en las manos a pesar de los guantes.



Vídeo 8-7. Electroanalgesia

RESUMEN DE LAS TÉCNICAS DE ELECTROANALGESIA

En conclusión, aunque no es nada conveniente caer en recetarios «para todo», pues siempre debe partirse de una exploración previa de la zona con idea de encontrar estructuras patológicas y tipo de alteración para planificar la técnica más indicada a fin de devolver la normalidad a la alteración descubierta, las técnicas de analgesia pueden resumirse en las pautas de actuación contenidas en la [tabla 8-4](#).

Siempre se conseguirán mejores efectos si se intercalan varios métodos en la misma sesión en lugar de «colocar durante cierto tiempo una corriente hasta que suene el reloj» de final de sesión.

CICATRIZACIÓN DE HERIDAS POR ESTIMULACIÓN NERVIOSA TRANSCUTÁNEA

Algunos aparatos que en su diseño contemplan una forma de corriente destinada para acelerar la curación o cicatrización de heridas, úlceras, escaras, zonas hipotróficas, pedículos de injertos por segunda intención, etc., ofrecen otra variante de la técnica.

Las ideas y sugerencias son variadas, pero ahora se analiza una corriente para entender su posible efecto y aplicación.

Dicha corriente presenta las siguientes características ([Fig. 8-36](#)):

- Los impulsos son cuadrangulares de corta duración (entre 0,01 y 0,5 ms).
- Los impulsos se presentan en los dos sentidos: [+] y [-], es decir, bifásicos o alternos.
- Los reposos dependen de la frecuencia aplicada.
- La frecuencia se puede regular, pero suele utilizarse la banda de 80 a 150 Hz.
- Los impulsos van agrupados en trenes o ráfagas de alrededor de 1 s con poco gradiente de subida y bajada del tren (subida y bajada bruscas).
- Las pausas entre trenes duran alrededor de 5 s, o sea, un tren de 1 s cada 6 s.
- La sesión puede durar hasta 2 horas.
- La intensidad es moderada, perceptible, pero no debe molestar en ningún momento.
- Los electrodos son indistintos (no tienen polaridad), su colocación se practica sobre la misma escara a través de una gasa empapada en suero fisiológico estéril. En caso de existir anestesia, el considerado activo será situado inmediatamente en sentido proxi-

mal al foco, pero en la misma metámera de inervación cutánea.

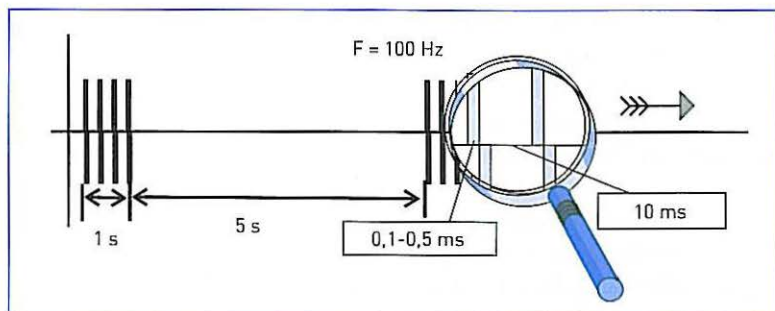
La característica más trascendente de este diseño se halla en la propiedad de bipolari-

dad consecutiva (onda positiva seguida de onda negativa), por lo que esta corriente pierde por completo su posible componente galvánico o influencia electroquímica en la zona.

Tabla 8-4. Resumen de las técnicas de electroanalgesia

Vía de analgesia	Electrodos	Corrientes
Analgesia por estimulación sensitiva a lo largo del trayecto nervioso (adormecimiento de la zona)	Situados a lo largo del trayecto nervioso	Media frecuencia con corrientes interferenciales, bipolares y modulación 0. Corrientes bifásicas pulsadas con frecuencias entre 80 y 150 Hz
Analgesia por estímulo sensitivo en la zona dolorosa sin componente galvánico (subida del umbral sensitivo local y efecto puerta en la formación reticular medular)	Aplicaciones longitudinales o contralaterales	Corrientes bifásicas de tipo TENS, media frecuencia y corriente de Trabert en bifásica o corrientes diseñadas por el terapeuta en la zona de ajustes libres
Analgesia local por estímulos con componente galvánico (foresis de catabolitos que irritan de forma química) aunque se incluya efecto sensitivo	De preferencia, aplicación contralateral. En algunos casos, longitudinal	Galvánica, diadinámicas, corrientes diseñadas con pulsos monofásicos y el componente galvánico prefijado
Analgesia de dolores referidos por alteraciones en la inervación secundaria (explorando y localizando puntos de irradiación)	Electrodo manual y móvil, como guantes, cabezal de ultrasonidos, electrodo puntual, etc. El otro electrodo será grande a modo de indiferente	Pulsadas monofásicas o bifásicas, corrientes moduladas de media frecuencia bipolar y modulación 0
Analgesia por reducción de las tensiones musculares y tendinosas por contracturas (vibraciones musculares que conducen a relajación)	Aplicaciones para respuesta motora monopolar y bipolar. Se pretende una respuesta motora de vibraciones o trenes cortos. La vibración oscilará entre 1 y 6 Hz	Vibraciones con pulsos monofásicos o bifásicos. Modulaciones de frecuencia. <i>Burst</i> del aparato de TENS de 1 a 6 Hz. Trenes cortos de 1 s-1 s en corrientes farádicas, de alto voltaje o de Kots
Analgesia por trabajo muscular que limpiará y lavará el músculo y los alrededores de toxinas y líquidos retenidos (contracciones alternas que generarán bombeo circulatorio)	Situación de electrodos procurando buena respuesta motora en modo monopolar o bipolar. Se pretende el trabajo de varios segundos seguido del mismo tiempo más el 50%	Trenes de corrientes farádicas, de alto voltaje o de Kots. El tiempo de tren, entre 5 y 10 s, y la pausa, entre 8 y 15 s. Contracción importante y rampa suave

Figura 8-36. Corriente bifásica consecutiva de unos 100 Hz, agrupada en trenes de 1 s y pausas de 5 s. F: frecuencia.



Es una corriente destinada a producir tan sólo estímulos en las terminaciones sensitivas con cortos impulsos, pero agrupados en trenes de un segundo para intensificar su efecto; al cabo de unos segundos, se repetirá la cadencia.

La base fisiológica consiste en estimular las terminaciones sensitivas para provocar el reflejo de vasoconstricción venosa, linfática y respuesta motora de la musculatura lisa que se encuentre en la zona estimulada, que acelera el drenaje de los líquidos retenidos a causa del débil trofismo y destrozamiento tisular causado por la ulceración. Esta circunstancia mejorará el trofismo local y comportará las consiguientes consecuencias de respuestas biológicas.

No debe olvidarse que los trenes actúan cada 5 s debido a la lentitud del peristaltismo o contracciones y los reposos de las fibras de la musculatura lisa.

Así pues, según esta propuesta, si se desea diseñar una corriente semejante para esta técnica, los efectos químicos del galvanismo deben eliminarse o reducirse al mínimo. Otras propuestas sugieren el uso del componente galvánico y situar el cátodo [-] sobre la ulceración para mejorar el trofismo local (técnica más arriesgada).

MASAJE CAVITACIONAL

Sin afán de profundizar mucho en esta técnica, puede afirmarse que consiste en aplicar un masaje superficial al paciente tras calzarse unos guantes de vinilo y aplicar un electrodo

al paciente y otro al terapeuta. Así se crea una diferencia de potencial entre el terapeuta y el paciente, diferencia de potencial que pretende el paso de energía entre ambos, pero lo impiden los guantes de vinilo interpuestos.

Con esta tensión eléctrica entre ambos, si se dejan las manos «quietas» sobre el paciente, no se aprecia nada, pero si se desplazan las manos rozando de forma suave al paciente, tanto paciente como terapeuta notarán un desplazamiento vibratorio.

Este desplazamiento vibratorio (cavitatorio) causa un estímulo sensitivo sobre la piel del paciente que, mantenido varios minutos, termina por adormecer, relajar y enrojecer la zona tratada. Por ello, en patologías con hipersensibilidad, como fibromialgias y procesos agudos, tiende a reducir el dolor.

El origen de esta técnica es el drenaje linfático, pero se observan efectos de sedación y relajación en función de las frecuencias usadas, de la intensidad aplicada (mejor voltaje aplicado) y de la maniobra realizada.

Dado que no circula energía medida en mA, en realidad se aplica mucho voltaje con pulsos monofásicos o bifásicos, pero con el equipo en VC. Si se ajusta en CC, el estimulador mostrará error. Pueden elegirse pulsos cuadrados, monofásicos o bifásicos desfasados de 20 ms, reposos de 200 ms (equivale a 4,5 Hz), aparato en VC y elevar mucho el llamado «mando de intensidad».

Con estos parámetros, un electrodo al paciente, el otro electrodo al terapeuta, guantes en

las manos del terapeuta, con polvos de talco o sin ellos y masaje superficial: se captará la vibración. Si se dispone del equipo diseñado para esta técnica, podrá aplicarse a mano o a través de un cabezal diseñado *ex profeso* (Fig. 8-37).

Puede extenderse polvos de talco sobre la piel del paciente o no utilizarse (Fig. 8-37 A). Si se observa la figura 8-37 B, puede verse dibujado, sobre los polvos de talco, el desplazamiento saltatorio. Con los polvos, el deslizamiento es más suave y menos movilizador de la piel; sin éstos se «enganchan» más las manos y el estímulo mecánico sobre la capa dérmica y el tejido celular subcutáneo es mayor. Con intensidad alta, el efecto es más fuerte que con la baja. Con frecuencias muy bajas, el efecto es más profundo y con frecuencias altas es más superficial. Con la mano plana, el efecto es amplio y, con las yemas de los dedos, el efecto es muy puntual. En zonas hipersensibles deben aplicarse frecuencias altas y en procesos crónicos, frecuencias bajas. En definitiva, se dispone de toda una gama de posibilidades muy interesantes para investigar.

Hay que prestar especial cuidado al hecho de que no entren en contacto directo la piel del paciente con el terapeuta para evitar un calambre sorpresivo y desagradable para ambos, aunque no peligroso.

Es una técnica que permite un amplio campo de investigación en sus efectos sobre los sistemas neurovegetativo, circulatorio superficial, analgesia, relajación y otros que se puedan estudiar de acuerdo con la gama de frecuencias disponibles (desde 1 hasta 150 Hz), además de sus efectos específicos sobre el drenaje linfático y sanguíneo.



Videos 8-8 y 8-9. Masaje cavitacional 1 y Masaje cavitacional 2

PRECAUCIONES Y CONTRAINDICACIONES

Frente a pacientes con especial miedo o reacción de histerismo a las corrientes eléctricas, tendrán que aplicarse estas técnicas con las debidas precauciones de progresión o, incluso, descartar el tratamiento. De forma previa se le explica lo que se pretende, lo que sentirá, se elevarán los parámetros con lentitud y, si a pesar de todo, el paciente no tolera la técnica, se retira la aplicación.

Si el tratamiento de electroterapia fuera muy necesario y el paciente lo rechaza, suele dar buen resultado aplicar los electrodos sin corriente el primer día. El segundo día se aplican electrodos con una intensidad ligeramente perceptible. En general, el tercer día ya se puede aplicar con normalidad.



Figura 8-37. A) Masaje cavitacional a través de guantes de vinilo sin polvos de talco. B) Masaje cavitacional con un cabezal específico e interposición de polvos de talco.

Para un buen tratamiento, deben ajustarse los parámetros de forma correcta a fin de que cumplan con los objetivos propuestos. Si el tratamiento se practica sin control o sin conocimiento de causa, los resultados serán imprevisibles debido a esa mala práctica.

No hay que usar electrodos metálicos como electrodo activo. Si el electrodo masa es amplio, puede ser metálico (inoxidable) en función del aplicador y de la intensidad ajustada.

Si las corrientes usadas poseen componente galvánico, hay que calcularlo de forma previa y ajustar la intensidad a los máximos de seguridad a fin de evitar quemaduras. Es bastante frecuente observar cómo algunas corrientes, diadinámicas, de Trabert y otras semejantes, se aplican con la única guía de lo percibido por el paciente.

Debe considerarse la posibilidad de quemaduras internas en la proximidad de materiales metálicos de osteosíntesis.

Las alteraciones electroquímicas en el interior del organismo provocadas por corrientes galvánicas interrumpidas son quemaduras químicas y no por exceso de calor.

No hay que aplicar los electrodos en zonas alteradas de la piel ni atrapar entre el electrodo y la piel metales de joyería o bisutería. Si los electrodos crean un campo eléctrico que pueda invadir el corazón o marcapasos cardíaco es obligado evitarlo y cambiar los electrodos de lugar.

Si la aplicación se practica en las proximidades del sistema nervioso central o los ganglios neurovegetativos, la intensidad será baja y pendiente de respuestas neurovegetativas en el paciente.

En mujeres embarazadas, deben realizarse aplicaciones muy lejanas de las proximidades

del feto, pues el incipiente sistema nervioso del feto, sus músculos y su corazón pueden sufrir reacciones y respuestas descontroladas con efectos no deseados.

No debe aplicarse en procesos neoplásicos, tanto si los electrodos se colocan sobre el tumor como si el campo eléctrico lo invade.

Hay que tener mucha precaución con los procesos tromboflebíticos, pues unas veces por efectos de contracción muscular cercana al foco y otras por provocar motricidad vascular refleja puede desencadenarse la liberación de microtrombos con consecuencias imprevisibles.

Sobre abscesos purulentos no deben aplicarse estas técnicas de baja y media frecuencia para evitar posibles dispersiones de la colección localizada de pus y gérmenes.

Se evitará que el paciente toque otros aparatos eléctricos con derivación a tierra, sobre todo si el estimulador aplicado también se encuentra conectado a la red eléctrica. En los pequeños aparatos de baterías, no tiene tanta importancia esta precaución.

No debe aplicarse electroterapia de baja y media frecuencia de forma simultánea con lámparas de infrarrojos, pues si los electrodos están fijados de forma directa sobre la piel y, a la vez, son oscuros, acumularán mucha energía térmica y la transmitirán de forma muy eficaz por conducción entre electrodo y piel con la consiguiente quemadura térmica.

Es fundamental recordar la anatomía y fisiología de las vísceras y glándulas, pues pueden provocarse contracciones de musculatura lisa de éstas, las cuales desencadenarán molestias, retortijones, evacuaciones inoportunas y secreciones innecesarias de jugos gástricos u hormonas.

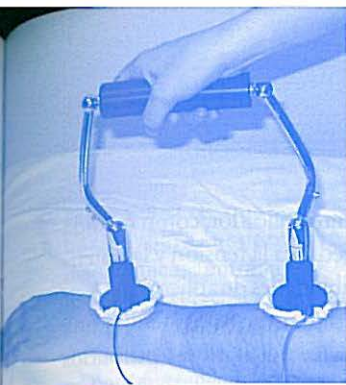


Autoevaluación

Material complementario en el sitio web



- Autoevaluación
- Vídeos:
 - 8-1. Galvanopalpación
 - 8-2. Electroanalgesia metamérica
 - 8-3. Pantalla TENS
 - 8-4. Bifásicas
 - 8-5. Ciclo, período y frecuencia
 - 8-6. Vibración muscular
 - 8-7. Electroanalgesia
 - 8-8. Masaje cavitacional 1
 - 8-9. Masaje cavitacional 2



9

Corrientes diadinámicas

Contenido

- Desarrollo de las corrientes diadinámicas o moduladas de Bernard
- Descripción de este grupo de corrientes con sus posibilidades de aplicación, contraindicaciones y precauciones

Objetivos de aprendizaje

- Conocer el grupo que forman las corrientes diadinámicas y sus propiedades.
- Comprender bien su fuerte componente galvánico.
- Insistir de forma profusa en la dosificación y su aplicación en la electroanalgesia.

Síntesis conceptual

- ✓ Este capítulo hace hincapié en los conceptos de capítulos anteriores y en los riesgos de quemaduras.
- ✓ Se refuerzan los conceptos con los vídeos que se proponen.
- ✓ Aunque este grupo de corrientes no es de gran importancia, en este capítulo se desarrollan e, incluso, se aclara que otras corrientes pueden sustituirlas y superarlas en efectos sensitivos, motores y bioquímicos.
- ✓ Asimismo, se pone de manifiesto la importante aportación de Bernard en cuanto a metodología de tratamiento de forma directa y manual, extensible a otras técnicas de electroterapia.

CORRIENTES DIADINÁMICAS O MODULADAS DE BERNARD

Además de la descripción y exposición de las corrientes diadinámicas como método de tratamiento, este capítulo constituye, a su vez, un resumen de todo lo descrito en los anteriores. Aunque sea ésta una técnica que tiende a caer en desuso, sus bases continúan vigentes y son el origen de otras técnicas ofrecidas como un descubrimiento de actualidad.

El fisiólogo francés Bernard diseñó estas corrientes y las desarrolló en busca del efecto antiálgico y sobre la base de experiencias realizadas en la época por los «padres de la electroterapia» (Fig. 9-1).

Son corrientes de baja frecuencia. Básicamente se trata de dos, 50 y 100 Hz, aplicadas en distintas modulaciones o combinaciones entre ambas frecuencias fundamentales, por lo que también reciben el nombre de corrientes moduladas de Bernard. Aun a riesgo de ser reiterativo, debe quedar claro que estas corrientes se destinan, sobre todo, a electroanalgesia.

Consecución de las corrientes diadinámicas

La manera de conseguir estas corrientes es muy fácil en cuanto a su técnica. Se dispondrá de un transformador que separe de forma clara la

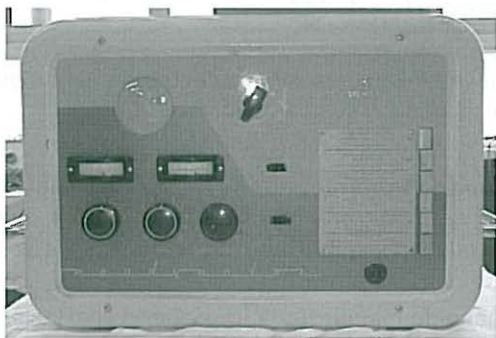


Figura 9-1. El Neodinador o estimulador-aplicador de diadinámicas es un aparato clásico que incorporaba un osciloscopio en su pantalla para observar las ondas.

red eléctrica del circuito aplicador, como medida de seguridad, y que reduzca la tensión y la potencia de la red a las posibilidades de aplicación. A su vez, la salida de dicho transformador tendrá una toma media y dos extremos para ser utilizados como sigue: la toma media, como masa o electrodo indiferente, y los extremos, como conductores o fases (todavía no son utilizables como diadinámicas por conducir corriente alterna).

Por ambos conductores (respecto a la masa) circula una corriente alterna de 50 Hz, de forma que la onda positiva de una fase coincide en el tiempo con la onda negativa de la otra fase (Fig. 9-2).

Consecución de la corriente monofásica polarizada de 50 Hz

Si se utilizan la masa y una fase (A) de forma que se intercala en el conductor un diodo (componente que sólo permite pasar las ondas positivas), filtrará la corriente de manera que elimina todas las ondas negativas, lo que ofrece como resultado impulsos positivos de 10 ms, separados por reposos de 10 ms:

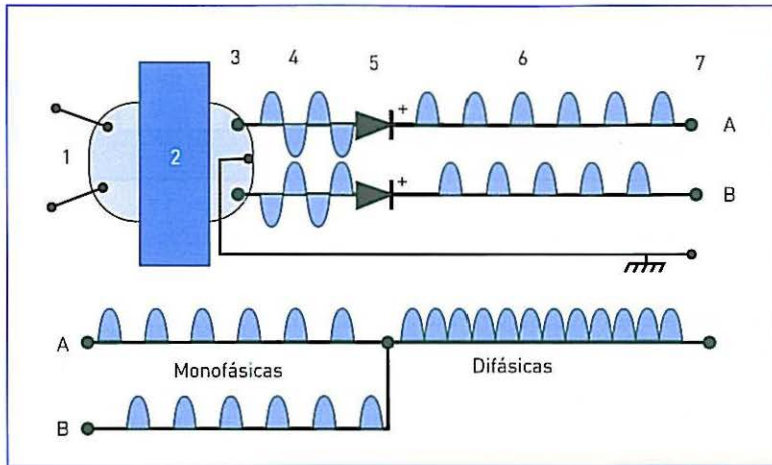
$$1.000 \text{ ms}/20 \text{ ms} = 50 \text{ Hz}$$

Las ondas emergentes del transformador, después del filtrado por el diodo, presentan una subida progresiva, llegan al máximo y vuelven a bajar de la misma forma, y se obtienen ondas simétricas de subida y bajada exponencial: sinusoidales (Fig. 9-3).

Consecución de la corriente monofásica polarizada de 100 Hz

Si además se somete al otro conductor (B) al efecto electrónico de otro diodo, al conectarlos entre sí se obtiene otra corriente exactamente igual que la anterior, pero se diferencia en el hecho de que los impulsos de una fase o circuito coinciden con los reposos del otro circuito de forma que, si se unen ambas fases (A y B) con sus respec-

Figura 9-2. Esquema básico para generar diadinámicas: entrada o toma de red eléctrica (1); transformador (2); salida de corriente alterna con baja tensión y con toma media a la cual se conectará el electrodo [-] o indiferente (3); ondas alternas en oposición de fase (4); diodos rectificadores que eliminan la onda negativa (5); dos corrientes monofásicas desfasadas (6), y tomas A y B para modularlas a partir de este punto (un canal, monofásica y dos canales, difásica; 7).



tivas ondas, se obtiene otra de 100 impulsos, de 10 ms cada impulso y sin reposo entre ellos (el estrechamiento en la parte alta de las ondas aparece destacando los «espacios entre los picos de las ondas»; v. la parte inferior de la Fig. 9-2).

Una vez que se han conseguido estas dos formas fundamentales, si a partir de este momento se las une, se las separa, se las mezcla según cadencias deseadas, se las interrumpe (en una fase o en las dos), etc., se obtendrán cuantas combinaciones se le ocurran al fisioterapeuta. Sin embargo, Bernard las normalizó con la siguiente clasificación:

- Monofásica fija (MF).
- Difásica fija (DF).
- Cortos períodos (CP).

- Largos períodos (LP).
- Ritmo sincopado (RS).

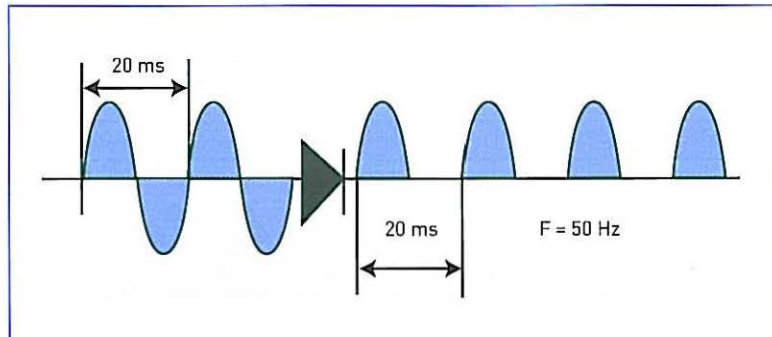
A posteriori se diseñaron otras variantes que se encontrarán en determinadas marcas comerciales, pero que ya no son las originarias de Bernard.

Éstas son un grupo de corrientes que poseen un importante componente galvánico, lo que obliga a poner especial atención en las intensidades aplicadas, en la correcta fijación de los electrodos y en su tamaño.

Base de galvánica

Debe quedar claro que ésta no es una de las modalidades de diadinámicas, sino una co-

Figura 9-3. Esquema de conversión de corriente alterna a corriente monofásica pulsada, después de pasar por el componente electrónico denominado diodo. Se conserva el mismo período en corriente alterna y en corriente monofásica; en consecuencia, ambas presentan 50 Hz. F: frecuencia.



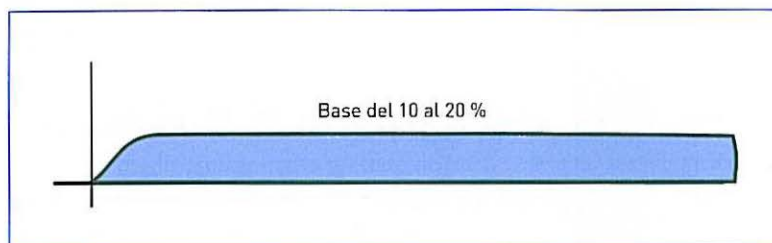


Figura 9-4. Base de galvánica para agregar a la corriente diadinámica de forma voluntaria. Su intensidad debe ser menor que la modalidad de diadinámica.

riente galvánica en dosis baja que, a voluntad, puede aplicarse como base de la corriente diadinámica elegida o no. La intensidad se suele ajustar entre el 10 y el 20 % de la intensidad de la diadinámica aplicada (Fig. 9-4). Si la base de galvánica tuviera la misma intensidad que la diadinámica, en la salida simplemente habría una galvánica que anula los pulsos de la diadinámica.

Monofásica fija (MF)

Se utiliza el circuito de una sola fase, que ofrece como resultado una corriente de 50 Hz con impulsos positivos sinusoidales de 10 ms y reposos de 10 ms. Es una corriente mantenida durante la sesión sin oscilaciones (Fig. 9-5). Posee un componente galvánico del 33,3 % y un importante estímulo sensitivo.



Videos 9-1 y 9-2. Diadinámica monofásica fija e intensidad eficaz de la monofásica fija

Difásica fija (DF)

En este caso, los dos circuitos unidos están trabajando de manera simultánea durante toda la sesión y ofrece como resultado una corriente de 100 Hz con impulsos positivos de 10 ms sin reposos entre ellos. La separación entre impulsos sólo se aprecia en las crestas de las ondas, aunque tienden a borrarse cuando se aplica de manera simultánea con la base de galvánica (Fig. 9-6). Su componente galvánico es del 66,6 %. Suele usarse para aplicaciones de iontoforesis. Pierde estímulo sensitivo si se compara con la monofásica fija.



Videos 9-3 y 9-4. Diadinámica difásica fija e intensidad eficaz de la difásica fija

Cortos períodos (CP)

En este caso se mantiene constante el trabajo de una fase, se intercala la otra de forma

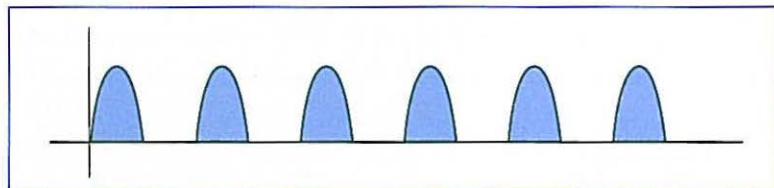


Figura 9-5. Monofásica fija o MF.

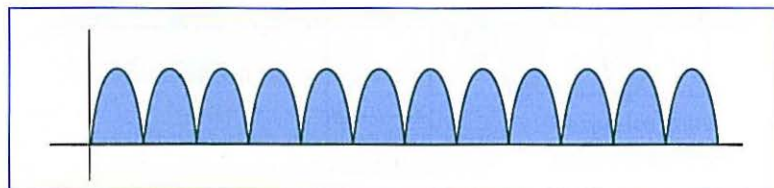


Figura 9-6. Difásica fija o DF.

Figura 9-7. Cortos períodos o CP.

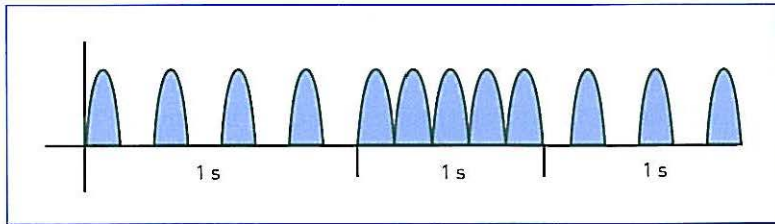
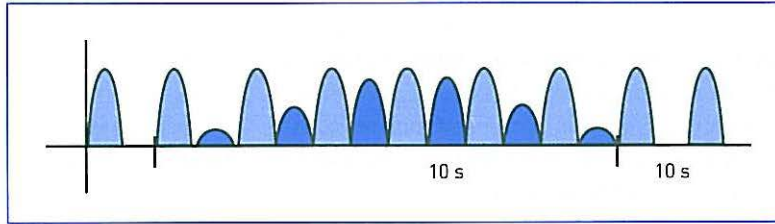


Figura 9-8. Largos períodos o LP.



alternativa en secuencias de 1 s, tanto para la interconexión como para la separación, lo que ofrece como resultado una corriente de 50 Hz seguida de 100 Hz a intervalos regulares de 1 s (Fig. 9-7). El componente galvánico es del 50 %. Produce un estímulo sensitivo cambiante a intervalos de 1 s.



Videos 9-5 y 9-6. Diadinámica cortos períodos e intensidad eficaz de cortos períodos

Largos períodos (LP)

En este caso, también se mantiene constante el funcionamiento de una fase, pero cada 10 s se activa el contacto entre las dos fases, con la característica de que la instauración de la segunda fase se realiza de forma progresiva y la retirada también es progresiva. Los citados 10 s por cada cambio pueden oscilar según la cons-

trucción o el fabricante del aparato (Fig. 9-8). El componente galvánico puede oscilar entre el 40 y el 45 %. Provoca en el paciente una sensación de cambio en la corriente, pero muy suave.



Videos 9-7 y 9-8. Diadinámica largos períodos e intensidad eficaz de largos períodos

Ritmo sincopado (RS)

Sólo trabaja una fase con interrupciones o pausas a intervalos regulares de 1 s. En consecuencia, se obtendrá una corriente monofásica de 50 Hz durante 1 s y pausas de 1 s. Estos tiempos y formas pueden oscilar según la construcción del aparato e, incluso, tienen la posibilidad de ser regulados por el operador (Fig. 9-9). Su componente galvánico oscila alrededor del 16 %. Provoca en el paciente la sensación de ráfagas de corrientes seguidas por pausas

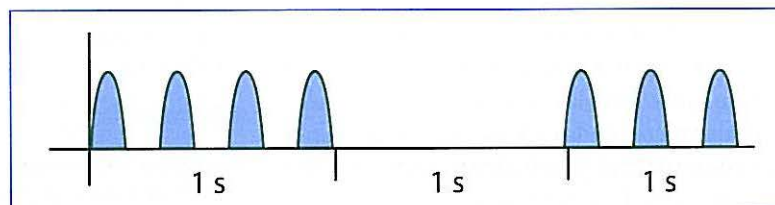


Figura 9-9. Ritmo sincopado o RS.

de igual tiempo. Es la única de este grupo que puede utilizarse para respuesta motora.



Videos 9-9. Diadinámica ritmo sincopado

Percepciones del paciente

Como se puede apreciar, este conjunto de corrientes tiene mucha influencia galvánica (sobre todo si se añade la base de galvánica). Con todo, a pesar de ello, mantienen un componente excitosensitivo y excitomotor, por lo que pueden utilizarse como analgésicas por vías sensitiva y motora.

Como excitante sensitivo y dada su forma de impulsos sinusoidales de 50 Hz (el llamado efecto de estimulación nerviosa transcutánea), pierde en parte este poder de estimulación al compararla con otra corriente semejante de impulsos cuadrangulares. Cuando se aplica MF, la sensación predominante es de estimulación con calambre eléctrico en lugar de hormigueo galvánico. Con DF se percibe más la sensación de hormigueo galvánico que el estímulo sensitivo.

Ocurre lo mismo si se pretenden obtener efectos motores, pues los impulsos sinusoidales muestran menor poder para despolarizar la membrana en fibras motoras que los pulsos cuadrangulares, pero pueden considerarse aceptables. De igual forma, aunque se reduzcan los efectos polares e interpolares propios de la corriente galvánica, éstos continúan manteniéndose en una elevada proporción, circunstancia que obliga a considerarlos como corrientes con poder electroforético (la MF tiene el 33,3 % de componente galvánico y la DF, el 66,6 %).

La genialidad de Bernard consistió en conseguir un estimulador de forma muy simple y barata que cubría los efectos basados en cambios químicos, en la excitosensibilidad y en la excitomotricidad para luchar contra los dolores que a él se le presentaron.

Efectos fisiológicos

Los efectos sobre el organismo se dividen básicamente en tres:

- según su componente galvánico,
- según su componente excitante o antiálgico vía sensitiva y
- según su componente antiálgico por vía de excitomotricidad.

Cada modalidad posee un componente predominante sobre las demás, aunque algunas compartan de forma simultánea varios efectos. En la [tabla 9-1](#) se clasifica de mayor a menor el componente referido, en sentido descendente.

Por su componente galvánico tienen efecto sobre la circulación, sobre reacciones electrolíticas en los líquidos orgánicos y sobre el sistema nervioso (excitante o sedante según su polaridad), efectos que ya se han descrito ampliamente en el galvanismo.

Por su componente de impulsos tienen efecto sobre la estimulación nerviosa sensitiva

Tabla 9-1. De más a menos, efectos de cada corriente

Efecto galvánico

- DF con base de galvánica
- DF sin base de galvánica
- LP con base
- CP con base
- MF con base
- RS con base

Efecto sensitivo

- CP sin base de galvánica
- RS sin base
- LP sin base
- MF sin base
- DF sin base

Efecto motor

- RS sin base de galvánica
- CP sin base con precauciones

(v. cap. 8). Aparecen nuevos mecanismos de respuesta sobre el organismo en el sistema nervioso sensitivo y en el sistema nervioso motor (de fibra lisa o involuntaria).

Al aplicar diadinámicas, el paciente manifestará de forma predominante la sensación de «calambre eléctrico» mientras que en el galvanismo se pueden sentir picores en la piel, hormigueos o calor.

El estímulo sensitivo de calambre suficientemente intenso va a provocar que las terminaciones o conducciones nerviosas tiendan a acomodarse a él y establezcan un umbral de sensibilidad más elevado de lo habitual; asimismo que interfieran en conducciones de estímulos dolorosos y reduzcan su número por el mecanismo de inhibición en las formaciones reticulares medulares (*gate control*), y que, si los estímulos son intensos, también se desencadenen respuestas de autoanalgesia procedentes de los centros nerviosos cerebrales (formaciones reticulares cerebrales).

Este efecto antiálgico se debe al estímulo que producen los impulsos de la MF, de los CP y los LP, sobre todo. Los pacientes comentan que, después de recibir una sesión con corrientes diadinámicas, sienten la zona adormecida (situación semejante a la conseguida con otros tipos de corrientes excitosensitivas).

Si el propósito es interferir con eficacia en la conducción de un estímulo doloroso, se intentará superar su intensidad y, además, se tratará de mantenerla durante todo el tiempo de la sesión, ya que el sistema nervioso tiende a acomodarse (acostumbrarse) a cualquier estímulo homogéneo y duradero. La solución para evitarlo se basa en el hecho de que la corriente aplicada deje de ser homogénea y duradera. Por ello, Bernard diseñó los cortos períodos y los largos períodos, e introdujo variaciones en su composición para tratar de evitar el fenómeno de acomodación (capacidad de acostumbrarse al estímulo monótono).

Por su componente antiálgico motor tienen otros efectos sobre la musculatura. Al tratarse

de corrientes compuestas por impulsos, desencadenarán contracciones para beneficiar o, por el contrario, se tratarán de evitar para no causar daños. Es decir, si se aplica MF o DF durante unos minutos y se produce contracción muscular sin dar opción al músculo a relajarse, se causará fatiga muscular. Sin embargo, si las mismas corrientes se aplican con la intensidad suficiente como para estimular al sistema sensitivo y no al motor, se conseguirá el efecto sensitivo a la vez que se evita el motor no deseado.

En otras ocasiones, interesa que los músculos se contraigan por su efecto acelerador de la circulación de líquidos intramusculares y de la zona, debido al bombeo de las contracciones alternativas, que se apoya en la mejora de las condiciones metabólicas, efectos antiálgicos, antiinflamatorios y de reabsorción de edemas locales. Estos resultados se pueden intensificar si no se olvidan otros factores derivados del componente galvánico por su efecto de polaridad e interpolaridad.

También interesará el efecto excitomotor en casos de contracturas prolongadas, hipotonías musculares, desbridamientos, movilización de tejidos no contráctiles, como ligamentos, cápsulas y tendones. Todo ello reportará otros beneficios sobre el metabolismo y la circulación mediante mecanismos de masajes y movilizaciones de los tejidos no contráctiles desde dentro, es decir, desde las tensiones tendinosas por las contracciones musculares repetitivas. La corriente modulada más adecuada para excitomotricidad, lógicamente, será el ritmo sincopado (RS), 1 s de trabajo muscular y 1 s de relajación.

Círculo vicioso del dolor

La duración de los efectos cuando se trata con diadinámicas no suelen prolongarse mucho en el tiempo, aunque dependerá de la patología tratada y del nivel de acierto o indicación y la eficacia que se consigan. Los efectos pueden durar unos minutos, horas e, incluso, se pueden obtener resultados definitivos con

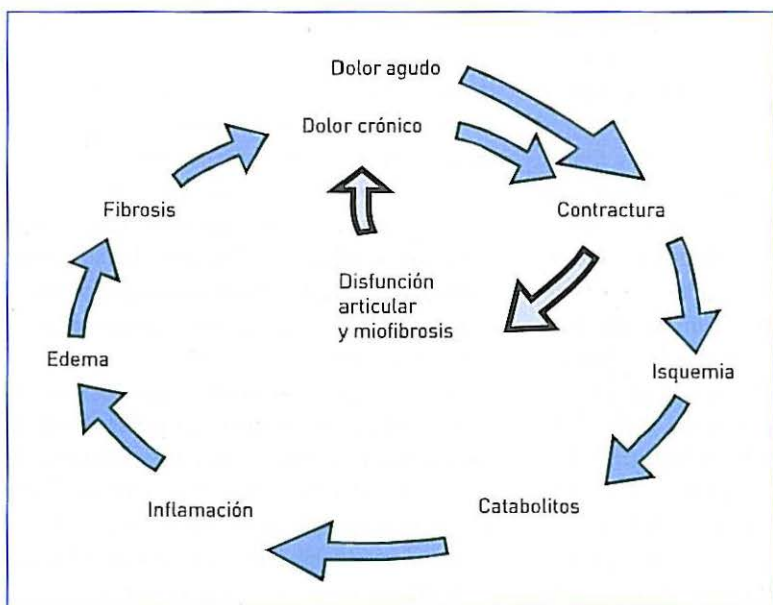


Figura 9-10. Círculo vicioso del dolor.

una sola sesión. Sin embargo, aunque no resulten muy efectivas, son muy importantes para romper el círculo vicioso que se inicia en el dolor agudo y terminan de nuevo en dolor crónico (Fig. 9-10).

Es importante recordar en este punto que la estrategia de tratamiento será fundamental para alcanzar resultados óptimos. Esta estrategia se basará en la previa exploración del proceso para establecer la metodología más oportuna de acuerdo con las herramientas de que se dispone, ahora concretadas en las corrientes diadinámicas.

Si se analiza de forma detenida este «círculo vicioso», el cual no siempre debe seguir este orden o cadencia, y se considera como estrategia de ruptura los tres efectos fundamentales enumerados antes, deberá valorarse cómo hay que luchar contra cada manifestación o síntoma que se pueden encontrar en un proceso patológico determinado.

Dolor inicial (agudo)

La referencia de dolor agudo o primario está establecida para dar a entender que es el

primer síntoma después de una agresión al organismo, que causa daño y ofrece como primera respuesta consciente el dolor que, a su vez, puede desencadenar actitudes de defensa secundarias (Fig. 9-11). El tratamiento debería enfocarse según el origen o la causa que lo produce.

Dolor traumático y agudo

Este tipo de dolor está producido por la destrucción de tejidos en la zona lesionada (estímulo de nociceptores mecánicos) y la correspondiente liberación de sustancias que desencadenan el mecanismo de inflamación como defensa (estimulación de nociceptores químicos).

Interesa reducir este dolor de dos formas: se deben abordar las conducciones dolorosas por los nervios con CP, LP, MF y DF o mediante los efectos galvánicos polares o locales tras colocar el electrodo activo (ya se indicará cuál) en la zona dolorosa con poca intensidad para no irritar más el foco. El otro electrodo más amplio tratará de buscar el efecto de electroforesis sobre los catabolitos, como pueden ser la histamina o

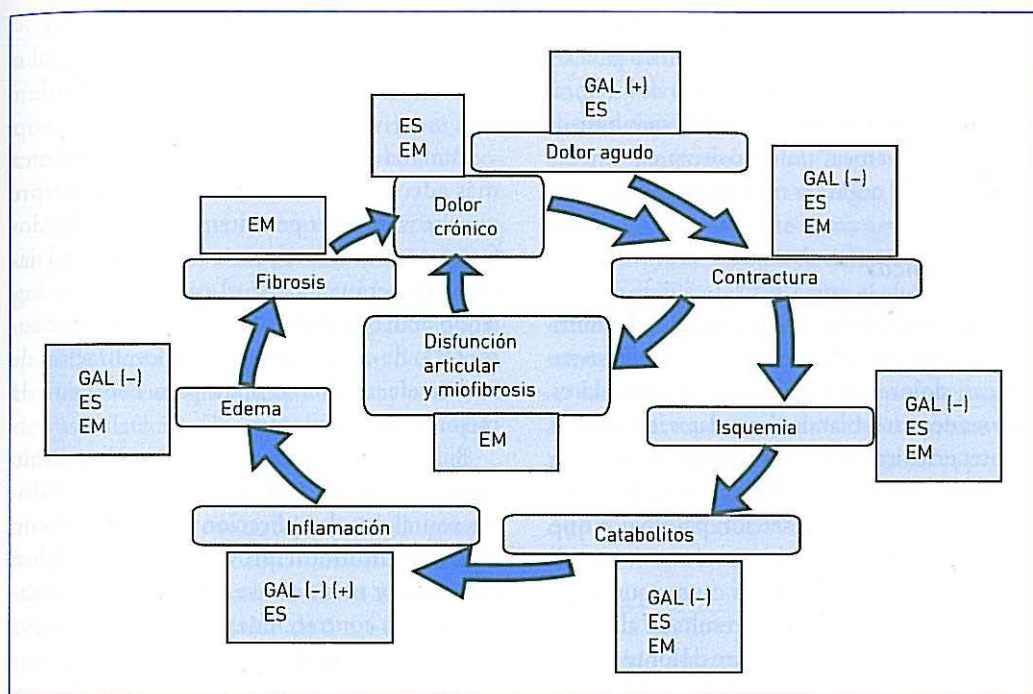


Figura 9-11. Círculo vicioso del dolor y posibles estrategias de tratamiento al basarse en las diadinámicas. EM: efectos motores; ES: efectos sensitivos; GAL: galvanismo.

la serotonina. En este caso se seleccionarían las DF con base de corriente galvánica.

En cuanto a la polaridad, en procesos agudos, en las aplicaciones con predominio galvánico esta debe ser positiva [+] dado que, por lo general, se estará frente a un proceso de inflamación aguda que interesa frenar con el ánodo:

- Reduciendo el metabolismo.
- Reduciendo el nivel de líquidos (coagulación).
- Reduciendo el nivel de polarización celular.
- Reduciendo el nivel de sensibilidad nerviosa.

Sin embargo, si el proceso es subagudo o está cronicado, puede interesar el cátodo [-] para rechazar de la zona las sustancias irritantes atrapadas por los procesos edematosos indurados debido a la proliferación de macrocélulas, abundancia de fibrina y tendencia a la gelatini-

zación del medio. Puede reforzarse este efecto antiinflamatorio con la aplicación de una sustancia para este fin a modo de iontoforesis.

Asimismo, cuando el dolor es agudo, no interesa provocar contracciones musculares que movilicen los tejidos dañados, ya que éstos requieren reposo para facilitar su restauración morfológica y anatómica.

Dolor neurálgico y neurogénico

Frente a dolores producidos por compromisos o irritaciones de los nervios periféricos, se apreciará gran variabilidad en los resultados, ya que con frecuencia, hasta que no se evite la causa irritativa, el síntoma no se aliviará de forma definitiva. No obstante, puede intentarse si se busca el efecto de saturación sensitiva o interferencia del dolor con LP, CP, MF y DE, y se aplica a lo largo del trayecto nervioso, con el cátodo distal y el ánodo proximal.

Otra modalidad estaría basada en el efecto descendente del componente galvánico para sedar y subir el umbral o polarización de las fibras y terminaciones nerviosas, con DF más base de corriente galvánica, polo positivo en sentido craneal y polo negativo en sentido distal.

Dolor crónico

Este tipo de dolor puede proceder de multitud de causas, como focos de alteraciones metabólicas, dolores por contracturas musculares, dolores de partes blandas articulares inflamadas, dolores artríticos o dolores neurogénicos.

Esta modalidad de dolor va a ser síntoma de respuesta a otra manifestación patológica que, como se irá describiendo, en el momento de conseguir aliviar las referidas causas que lo generan, tendrá un inmediato resultado aliviador sobre esta forma de dolor. Este dolor tenderá a cronificarse y a formar el último eslabón del círculo vicioso en lugar de ser el primero.

Así pues, además de los esfuerzos realizados para eliminar los dolores crónicos, antes deberá buscarse una corriente que ataque de forma directa la patología que los genera.

Contractura

Si se ha conseguido aliviar el dolor de origen (desencadenante de los demás signos de respuesta), ya se habrá dado el primer paso para romper el mecanismo de defensa que producía la contractura (Fig. 9-11).

Además, tal vez una de las mejores formas de luchar contra la contractura muscular sea someter el músculo contracturado a contracciones seguidas de relajaciones alternativas, de forma que progresivamente:

- Vaya aumentando el proceso de relajación por regulación del sistema α - γ .
- Se produzca bombeo y mejora del riego.
- Haya aumento de la nutrición.
- Haya producción de calor y agua.

- Se produzca liberación del edema.
- Haya renovación del líquido intersticial o linfático y su paso del estado de gel a sol.

Para todo ello, la modalidad de diadinámica más adecuada es el RS o, quizá, CP siempre que estos últimos permitan en una de las dos fases que el músculo pase a situación de relajación. Deberá colocarse el cátodo como electrodo activo debido a su mejor efecto excitomotor o de cataelectrotono y la localización de ambos electrodos se fijará para conseguir la mejor respuesta motora.

Si la contractura es reciente, aguda y como respuesta defensiva a la lesión anatómica o dolor neurálgico, la aplicación de corrientes con efecto excitomotor provocará mayor dolor, más daño y más defensa. Así pues, este tratamiento por contracciones repetitivas se reserva para casos subagudos y crónicos.

Cuando la contractura es prolongada, termina por alterar la biomecánica de las articulaciones, a veces, por hiperpresiones de cartílagos con el consiguiente proceso doloroso; en ocasiones, éstas son desviadas de sus ejes y se produce sufrimientos en las cápsulas y cartílagos, y también éstas terminarán fijándose en malposiciones (como en las vertebrales), etcétera.

La mejor forma de luchar contra estas alteraciones posicionales de las articulaciones (alteraciones biomecánicas) se basará en relajar los músculos contracturados y movilizar de forma repetida la articulación mediante contracciones musculares también repetitivas hasta que se normalicen. Se aplicará RS.

Isquemia

Cuando una zona está bajo la influencia de contracturas musculares, de forma lógica presenta falta de riego por la compresión y aplastamiento de los vasos sanguíneos y colectores linfáticos, que reducen su caudal y, en consecuencia, aumentan el edema que impide la circulación de retorno (Fig. 9-11).

En esta ocasión vuelven a ser las contracciones activas del músculo y sus relajaciones alternativas las generadoras del efecto de bombeo que mejora la circulación. La corriente adecuada es el RS, por lo que se refiere a las corrientes diadinámicas.

Los efectos polares e interpolares y la influencia galvánica de las diadinámicas (referidos en el galvanismo) tienen su importancia y pudiera convenir que, antes del ritmo sincopado, se apliquen de forma local algunos minutos de DF con base de corriente galvánica para buscar los efectos de vasodilatación, iontoforético y de licuefacción, propios del cátodo en la zona interesada.

El ritmo sincopado (RS) posee una cadencia de 2 s (1 s de contracción y 1 s de pausa), lo que crea un bombeo circulatorio bastante rápido. Se considera que si un músculo se mantiene muy contraído de 5 a 6 s, quedaría mejor «exprimido» de los líquidos que contienen los vasos circulatorios que lo invaden y necesitaría 10 s o más para que dichos vasos sean ocupados de nuevo en la relajación.

Acumulación de catabolitos

Para eliminar sustancias procedentes de los residuos del metabolismo que no se han retirado debido a una circulación inadecuada y no fueron reemplazados por nutrientes, lógicamente, es fundamental restablecer la mejora circulatoria y el reequilibrio iónico (Fig. 9-11).

Tras haber resuelto los pasos anteriores, éste ya está determinado, pero es preciso insistir en la eliminación de catabolitos por la excesiva formación de gel en un punto concreto; el efecto de electroforesis, vasodilatación y licuefacción por el cátodo es el más adecuado, con DF y base de corriente galvánica, seguido de aplicaciones que conduzcan al efecto bombeo con RS.

Inflamación

Al surgir en una zona orgánica situaciones de alteración funcional, desequilibrio electro-

químico, acidificación del pH, metabolismo bajo, fibrosis o induración de la zona debido al edema y acumulación de catabolitos, el organismo responderá con una actitud inflamatoria más o menos intensa (Fig. 9-11).

Si se eliminan las causas que hacen reaccionar al organismo frente a una agresión, se evita o disminuye la reacción de defensa (siempre que ésta sea exagerada) y se cierra el círculo «en cascada», es decir, si se liberan los eslabones fundamentales, los demás se reducen por sí solos.

La inflamación, sobre todo, puede ser: aguda o de respuesta inmediata (-itis) o crónica o de respuesta poco potente a una agresión permanente (-osis). Existen otros tipos de inflamación que no corresponden tratar en este punto.

Edema

Debido a la acumulación de catabolitos en el líquido intersticial, se creará una presión oncótica alta, que atraerá hacia sí agua para mantener el nivel de disolución. Sin embargo, dicha disolución no puede renovarse por el fracaso del riego sanguíneo y linfático, lo que genera una situación edematosa localizada, la cual rápidamente comenzará a producir sedimentos o coagulación de electrolitos en el tejido intersticial, proliferación de fibrina y gelatinización. En la palpación se detecta induración de la zona (Fig. 9-11).

Al aplicar el tratamiento y conseguir mejoras en los síntomas previos (pasos anteriores del círculo vicioso), la situación edematosa o *inflamación edematosa* disminuirá. En caso de iniciar el tratamiento en que se ataca primero el edema, éste se basaría en la aplicación de una corriente excitomotora (RS en corrientes diadinámicas) tras colocar al paciente en una situación postural del miembro que facilite el efecto de bombeo y mejora en la circulación de retorno.

Cuando el edema se manifieste en forma muy localizada y con un grado de induración alto, se practicará una aplicación sobre el foco con DF y base galvánica durante 4 o 5 minutos,

en que se situará el cátodo sobre la zona y se buscará vasodilatación, licuación y cataforesis.

Fibrosis

Referirse a la fibrosis es tratar de fracaso del sistema neurovegetativo, pues si las respuestas reparadoras y defensivas fallaron con la inflamación, el organismo acude al mecanismo de aislar o bloquear la zona para crear una red tridimensional de fibrina, que termina aislando la zona afectada y adhiriendo tejidos próximos entre sí, los cuales están alterados en sus funciones nutricional, metabólica y biomecánica (Fig. 9-11).

Si la zona indurada contiene abundante colágeno, éste constriñe los vasos circulatorios, por lo que es fundamental, en primer lugar, movilizar la zona para conferir elasticidad al colágeno y después, remover los elementos electrolíticos contenidos en la red a fin de disociarlos y reabsorberlos.

Para movilizar y elastificar, se aplicará el RS a los músculos que más influyan y movilicen la zona interesada con el fin de que los sistemas circulatorios puedan evacuar sus contenidos.

El sistema circulatorio linfático es importantísimo en la evacuación de edemas, por lo que puede acudir a éste e intentar que sus vasos y colectores se contraigan mediante la técnica de electrodos con guantes conductores o manoplas, la cual sale fuera de los cánones de la localización de electrodos en un punto fijo.

La técnica sería como sigue (Fig. 9-12):

- Se selecciona en el aplicador la corriente de RS.
- A cada guante o manopla se le aplica su correspondiente polo. Si se pretende que las respuestas sean sensitivas o motoras, se considerará el [+] como indiferente y el [-] como activo. Así, la mano del guante [-] será más móvil y la del [+] buscará un buen contacto, zona amplia y poca movilidad para garantizar un buen masaje. Si no se da importancia



Figura 9-12. Aplicación de corrientes mediante electrodos móviles con guantes conductores.

a la polaridad, se desplazarán ambas manos de forma coordinada.

- Con sendos electrodos en las manoplas, se calza uno en cada mano para desplazarlos sobre la zona del edema en forma de masaje superficial (de distal a proximal) a la vez que se aplica la corriente.

Esta técnica tiene que cumplir condiciones importantes, como:

- La intensidad de la corriente debe ser moderada (superar el umbral sensitivo, pero sin riesgos de calambrazos molestos).
- La velocidad de pasada debe ser lenta y sin presión (una cada 5 s).
- Nunca se debe interrumpir el contacto entre los electrodos en las manoplas y el paciente.
- Será mejor y más efectivo si se realiza con el paciente en una postura en que mantenga elevado el miembro que se trata.
- El deslizamiento de las manos no debe detenerse.
- Si se usa un único guante o las dos manos con la misma polaridad en sendos guantes con electrodo, éstos deberán partir del mismo conector. El otro electrodo (muy grande) se situará lejos de la zona, a modo de masa o indiferente.

La técnica se basa en provocar contracciones de la musculatura lisa que forma las paredes de los vasos sanguíneos y linfáticos, de sentido distal a proximal, como respuesta refleja a los estímulos sensitivos de la piel. Sin embargo, dado que su cadencia de contracciones sucesivas es muy lenta, se necesitan impulsos muy separados entre sí, por lo que, al considerar el tren de 1 s, a modo de impulso o ráfaga corta, se conseguirán contraer los vasos y colectores inmediatamente debajo del electrodo, contracción peristáltica que irá evolucionando en sentido proximal según se avanza con las manos.

Se puede elegir otra corriente del grupo de las diadinámicas (MF o CP) u otras que al fisioterapeuta le parezcan oportunas, pero el nivel o facilidad de tetanización de esta musculatura es alto, circunstancia que lleva a aplicar corrientes que permitan cierto descanso o respiro en su trabajo, como pueden ser el RS o los impulsos cuadrangulares de 10 a 20 ms, separados entre sí 4 o 5 s.

Todos estos procesos pueden parecer muy densos o, quizá, confusos, pero nada más lejos de la realidad, ya que en definitiva, si se cuenta con los tres efectos fundamentales de las corrientes diadinámicas y con una estrategia basada en la previa exploración, así como con la selección de corriente que mejor ataque el síntoma o síntomas dominantes, se conseguirá la eficacia pretendida.

Existen estimuladores de diadinámicas en el mercado que ofrecen posibilidades de cambiar de forma automática las aplicaciones programadas desde su comienzo: realizan cambios de polaridad, paso de una corriente a otra, controles de la duración de los cambios y del programa, etc. Los programas de estos electroestimuladores están basados en las enfermedades más habituales y en cómo abordarlas con corrientes diadinámicas según el predominio de unos síntomas u otros de los indicados en el reiterado círculo vicioso (Fig. 9-11). Sin embargo, las sugerencias de programación no coinciden entre unos fabricantes y otros.

En caso de no disponer de los referidos programas, cada fisioterapeuta debe detenerse a pensar, frente a un tratamiento, qué debe aplicar y cómo, partiendo de lo observado en el paciente y de la zona que deberá tratarse.

Esta vieja técnica de diadinámicas está superada con creces por otros sistemas de electroestimulación que consiguen, con mayor efectividad, los tres efectos fundamentales (sensitivo, galvánico y motor), por lo cual, con otras corrientes que no sean las moduladas de Bernard o diadinámicas, podrán llevarse a cabo tratamientos semejantes o mejores (v. cap. 8).

A pesar de ello, como se comenta al principio, la genialidad de Bernard consistió en diseñar tratamientos efectivos si se practicaban con paciencia, pericia, tiempo y dominio de la fisiopatología.

Este capítulo servirá para realizar un repaso y resumen de los anteriores, referidos a galvanismo y estimulación nerviosa transcutánea sensitiva y motora.

Las aplicaciones de diadinámicas en que se deja al paciente conectado a la máquina en una única modalidad durante 20 minutos son erróneas y peligrosas por su fuerte efecto galvánico.

Precaución importante

Existe una salvedad que se encuentra con cierta frecuencia. Se produce cuando el fisioterapeuta se halla ante procesos en que se manifiesta una denervación con pérdida de sensibilidad y motricidad:

- En cuanto a la pérdida de sensibilidad, debe tenerse muy presente que la información acerca de lo que siente el paciente durante la sesión no es fiable y, por lo tanto, la dosis debe pecar por defecto y se controlará de manera cuidadosa la técnica para evitar quemaduras dado el fuerte efecto galvánico que poseen algunas de estas corrientes. En

consecuencia, los componentes sensitivos y motores serán poco aprovechables.

- Por lo que se refiere a la parálisis motora, ésta puede desbaratar los objetivos y los planes de tratamiento. Por ejemplo, si se pretende buscar el efecto bombeo por contracción de la musculatura estriada no se hallará, ya que los músculos afectados por denervación no responderán a ninguna de estas corrientes, aunque se apliquen con intensidad alta.

METODOLOGÍA DE TRATAMIENTO CON DIADINÁMICAS

Si no se dispone de un equipo aplicador de diadinámicas que permita programarlo para que de forma automática realice sus cambios a lo largo de la sesión (no recomendable), con la idea de aprovechar los tres efectos fundamentales referidos, se estará obligado a practicar tratamientos manuales, durante los cuales se irán cambiando los parámetros y la colocación de los electrodos según los deseos, observaciones y experiencia del fisioterapeuta (esto sería lo correcto).

No debe olvidarse que existe un aplicador manual específico para estas corrientes (Fig. 9-13) que acompaña a los equipos de diadinámicas, el cual contiene, solidarios con él, los dos electrodos debidamente aislados entre sí y el manubrio de aprehensión para manejarlo con una sola mano. Este sistema de electrodos permite modificaciones espaciales en la posición de los electrodos mediante rótulas giratorias semirrígidas. Dicho artilugio posibilita hacer cambios cada 3 o 4 minutos para intentar romper el círculo vicioso del dolor referido en la figura 9-11 de acuerdo con la estrategia o protocolo que el fisioterapeuta se haya propuesto.

No es pecar de reiteración volver a recordar que toda aplicación de diadinámicas que se practique con una única corriente durante 15 o 20 minutos sin alternancias, estará casi desaprovechada y se correrá un elevado riesgo de quemadura dado el importante componente galvánico de éstas. Es posible que el equipo generador de las corrientes disponga de programas y se utilicen, pero si el fisioterapeuta se olvida de practicar cambios en la situación de los electrodos, la sesión continuará estando carente de la adecuada precisión.

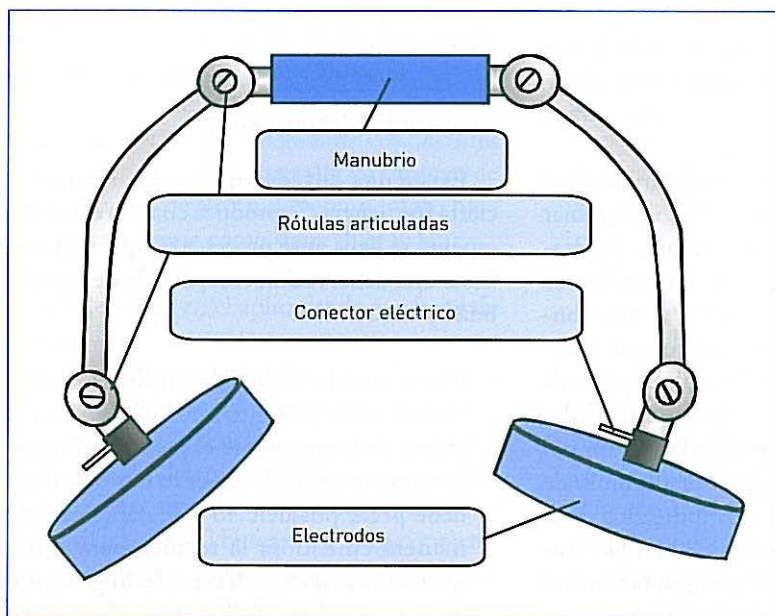


Figura 9-13. Manubrio para aplicación de diadinámicas (u otras corrientes).

En cuanto a la colocación de los electrodos, deberán tenerse en cuenta:

- los trayectos nerviosos;
- el sentido, la orientación y los puntos motores de los músculos;
- las zonas reflejas y los puntos gatillo;
- la colocación en sentido longitudinal para nervios y músculos, y
- la colocación contralateral para efectos galvánicos o estimulación sensitiva de la metámera por ambos lados.

Cuando se desee que un electrodo tenga preferencia de actuación sobre el otro, el activo debe ser más pequeño, pero como con frecuencia se debe invertir la polaridad, habitualmente se trabaja con electrodos de igual tamaño.

En cuanto al tema de la nomenclatura, en ocasiones coinciden siglas, abreviaturas o denominaciones con otras corrientes de posterior aparición. Así, por ejemplo, tratar de corrientes difásicas puede referirse a corrientes difásicas fijas del grupo de corrientes diadinámicas o a corrientes que están formadas por ondas positivas y negativas de manera simultánea. Así pues, quedará resuelto con la expresión bifásicas para estas últimas. También la

abreviatura MF puede significar monofásicas fijas o moduladas en frecuencia y la misma expresión de moduladas se emplea con frecuencia en otras modalidades de corrientes, como moduladas de Adams, moduladas en amplitud, moduladas en frecuencia o moduladas de Nemec. La expresión modulación significa cambios o modificaciones repetitivas en una corriente a lo largo de la sesión.

Límites de intensidad según el componente galvánico

Dado el alto componente galvánico de estas corrientes, así como la tendencia muy extendida a aplicar las diadinámicas con intensidades poco regladas, y también por la información subjetiva que aporta el paciente, debe considerarse seriamente el riesgo de quemadura galvánica en los pacientes.

Es importante reiterar en este punto que la DF posee el 66,6% de componente galvánico (2/3); los CP, el 50% (1/2); los LP, entre el 40 y el 45% (2/5); el MF, el 33,3% (1/3), y el RS, el 16%, como se observa, todas ellas con fuerte efecto galvánico.

Como norma general, en la [tabla 9-2](#) se sugieren los valores de intensidad máxima de seguridad en cada corriente diadinámica que

Tabla 9-2. Cálculo de intensidades para tres tamaños de electrodos con las diadinámicas y dosis de 0,1 mA/cm²

	DF	MF	CP	LP	RS
120 cm ²	18 mA	36 mA	24 mA	30 mA	75 mA
Fórmula para 120 cm ²	66,6% -> 12 100% -> X	33,3% -> 12 100% -> X	50% -> 12 100% -> X	40% -> 12 100% -> X	16% -> 12 100% -> X
80 cm ²	12 mA	24 mA	16 mA	20 mA	50 mA
Fórmula para 80 cm ²	66,6% -> 8 100% -> X	33,3% -> 8 100% -> X	50% -> 8 100% -> X	40% -> 8 100% -> X	16% -> 8 100% -> X
35 cm ²	5,2 mA	10,5 mA	7 mA	8,75 mA	21,8 mA
Fórmula para 35 cm ²	66,6% -> 3,5 100% -> X	33,3% -> 3,5 100% -> X	50% -> 3,5 100% -> X	40% -> 3,5 100% -> X	16% -> 3,5 100% -> X

se podrían aplicar con electrodos (si se supone que ambos son de igual tamaño) de 120, de 80 y de 35 cm², por ser superficies bastante habituales, considerando que la dosis de corriente galvánica (o componente galvánico) se establezca en 0,1 mA/cm² (v. «Consideraciones para evitar quemaduras en los pacientes», en el cap. 3 y «Componente galvánico de las corrientes galvánicas interrumpidas », en el cap. 5).

Otras diadinámicas no sugeridas por Bernard

Las diadinámicas diseñadas por Bernard tienen unas características específicas en cuanto a la forma de pulsos, reposos y frecuencias porque proceden de las ondas alternas de la red eléctrica, pero la electrónica moderna permite diseñar muchas variantes que rompen los límites de frecuencias, modificar los reposos e, incluso, modificar la forma. De las sugerencias que se han ido aportando (y cada fabricante aporta las suyas), las principales variantes

están en modificar los tiempos en los períodos de mezcla entre las dos fundamentales.

Así, puede contarse con cortos períodos sincopados (CP-S), largos períodos sincopados (LP-S), monofásica fija sincopada (MF-S), cortos períodos y largos períodos sincopados (CP-LP-S) y otros «inventos».

Estas variantes que se han ido introduciendo añaden una dificultad nada despreciable sobre saber o hallar el componente galvánico concreto, circunstancia que puede generar riesgos de quemadura si el terapeuta no conoce con la suficiente precisión las modificaciones introducidas y sus propiedades. Por ello, en este punto se hace una simple referencia a ellas a modo de curiosidad.



Videos 9-10 a 9-13. Monofásica fija_77_Hz, Largos períodos_sincopada, Monofásica fija_sincopada y Cortos períodos_largos períodos_sincopada

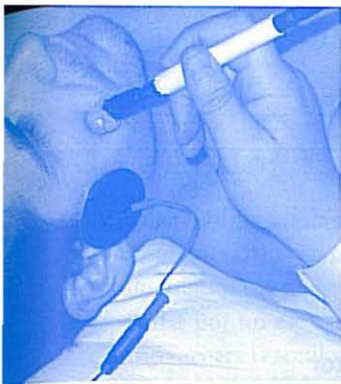


Autoevaluación

Material complementario en el sitio web

- Autoevaluación
- Vídeos:
 - 9-1. Diadinámica monofásica fija
 - 9-2. Intensidad eficaz de la monofásica fija
 - 9-3. Diadinámica difásica fija
 - 9-4. Intensidad eficaz de la difásica fija
 - 9-5. Diadinámica cortos períodos
 - 9-6. Intensidad eficaz de cortos períodos
 - 9-7. Diadinámica largos períodos
 - 9-8. Intensidad eficaz de largos períodos
 - 9-9. Diadinámica ritmo sincopado
 - 9-10. Monofásica fija de 77 Hz
 - 9-11. Largos períodos sincopada
 - 9-12. Monofásica fija sincopada
 - 9-13. Cortos períodos-largos períodos sincopado





10

Efecto excitomotor

Contenido

- Efecto de excitomotricidad eléctrica
- Respuesta fisiológica y fisiopatológica
- Representación gráfica de la excitomotricidad
- Gráficas para curvas intensidad/tiempo (I/T) y acomodación/tiempo (A/T)
- Análisis de las respuestas a partir de las curvas
- Faradización muscular y tratamiento de la parálisis periférica
- Triángulo de utilidad terapéutica

Objetivos de aprendizaje

- Comprender los conceptos de excitomotricidad y excitosensibilidad.
- Entender con claridad cómo se puede representar de forma gráfica el fenómeno de excitomotricidad para analizarlo e interpretarlo.
- Realizar curvas I/T-A/T.
- Analizar e interpretar curvas I/T-A/T.
- Asimilar el tratamiento de la parálisis periférica sobre la base de las curvas I/T-A/T.

Síntesis conceptual

- ✓ Este capítulo es fundamental para entender las respuestas motoras y sensitivas ante la electroestimulación percutánea con baja y media frecuencia. Capítulo necesario para entender los dos siguientes y partes de los anteriores en lo que se refiere a la contracción muscular provocada por estimulación.
- ✓ Es necesario que los fisioterapeutas dominen los parámetros que se aplican en las diversas corrientes de estimulación muscular y en tratamientos de fortalecimiento. Asimismo, el fisioterapeuta está obligado a conocer el fenómeno del triángulo de utilidad terapéutica para el tratamiento de la parálisis periférica.
- ✓ Una parálisis periférica se trata de forma diferente a una parálisis central, porque en una aparece degeneración walleriana y en la otra no, y esa circunstancia se puede observar y analizar en las curvas para decidir el tratamiento adecuado y sus mejores parámetros.

CURVAS DE RESPUESTA FISIOLÓGICA: INTENSIDAD/TIEMPO Y ACOMODACIÓN/TIEMPO (I/T-A/T)

Es fundamental que los fisioterapeutas recuperen una vieja técnica exploratoria basada en las respuestas fisiológicas y fisiopatológicas del conjunto neuromuscular.

Esta técnica se usó para establecer diagnósticos antes de que apareciera la electromiografía. Una vez que ésta se desarrolló, surgió la polémica en torno al desprestigio de la primera por ser poco fiable.

Por lo general está extendida la idea entre los profesionales de que, cuando se trata el tema de las curvas I/T, sólo se están considerando la reobase, la cronaxia y el índice de acomodación, parámetros que sirven para establecer un diagnóstico aproximado, trabajoso y superado por la electromiografía.

Las curvas sufrieron el proceso degenerativo de ser sometidas a un atajo en el cual se hallaban únicamente dos puntos de la curva I/T completa (la reobase y la cronaxia). La reobase indica la altura de la curva. La cronaxia indica si se sitúa a la izquierda, en el centro o a la derecha. Con estas dos referencias se hacían una idea aproximada de «si la cosa iba bien, regular o mal». Lo mismo ocurría con el índice de acomodación.

Este atajo provocó la pérdida de la información más trascendental que aportan las curvas. A los fisioterapeutas, la reobase, la cronaxia y el índice de acomodación prácticamente no les aportan nada. Los puntos útiles y los escalos-

Los fisioterapeutas deben apartarse de dicha polémica y olvidarse de su función diagnóstica; en cambio, deben emplearla para averiguar y depurar sus tratamientos, pues en las gráficas trazadas se obtendrá mucha información fundamental para el mejor tratamiento, el seguimiento de la evolución y para entender el porqué y el cómo de toda la electroterapia de baja y media frecuencia, tanto motora como sensitiva.

nes, la importancia del ángulo de deflexión, los desplazamientos, etc. ofrecerán los tiempos de los pulsos para uso en los tratamientos.

Efecto excitomotor

Uno de los fenómenos o efectos importantes que produce la aplicación de corrientes eléctricas sobre el organismo consiste en conseguir que los músculos en tratamiento se contraigan de manera involuntaria, entre otras razones, porque el paciente es incapaz de lograr este efecto por sí solo.

Si un músculo o nervio se encuentra afectado por un proceso patológico, perderá, en mayor o menor grado, su capacidad de trabajo. Si el proceso patológico es una denervación, el nervio habrá sufrido una degeneración walleriana y el tejido muscular dejará de contraerse, de forma lenta perderá su metabolismo propio de fibra muscular y terminará degenerando en otro tejido fibroso que sustituya al tejido muscular (fibrosis). Lo mismo se puede afirmar de procesos metabólicos graves y prolongados, contracturas mantenidas durante largo tiempo, inmovilizaciones articulares prolongadas, edemas graves, etcétera.

Cuando esto sucede, queda el recurso de intentar contracciones del conjunto *neuromuscular* con métodos diferentes al fisiológico y externos al propio organismo o a la voluntad del paciente. Ello será mediante estímulos eléctricos aplicados por vía transcutánea (v. «Teoría de la denominada ley fundamental de la respuesta electromotriz, más adelante»).

Cuando el cerebro desea producir una contracción muscular:

- Genera impulsos eléctricos conducidos por las neuronas eferentes.
- Dichos impulsos son controlados (en número, forma e intensidad), coordinados y dirigidos por las vías adecuadas a los axones correspondientes mediante activaciones e inhibiciones selectivas en las sucesivas sinapsis contiguas.

- Los impulsos llegan por las distintas terminaciones axónicas hasta las *sinapsis*, localizadas entre terminaciones nerviosas y fibras musculares, separadas por un espacio en que el estímulo eléctrico genera la acetilcolina (placa motora).
- La acetilcolina produce cambios químicos en la membrana de la fibra muscular, por lo que ésta conduce los iones tras despolarizarse y generar su correspondiente trabajo (la contracción).

Si esto no sucede así, tendrán que aplicarse, por vía transcutánea, impulsos eléctricos (semejantes a los neurológicos o, si éstos no lo consiguen, aplicar precisamente los adecuados) con el fin de recuperar o, al menos, mantener activo el metabolismo propio del sistema *neuromuscular* durante el tiempo que dure el proceso patológico. Los «pulsos adecuados» se obtienen de las curvas I/T-A/T (Fig. 10-1).

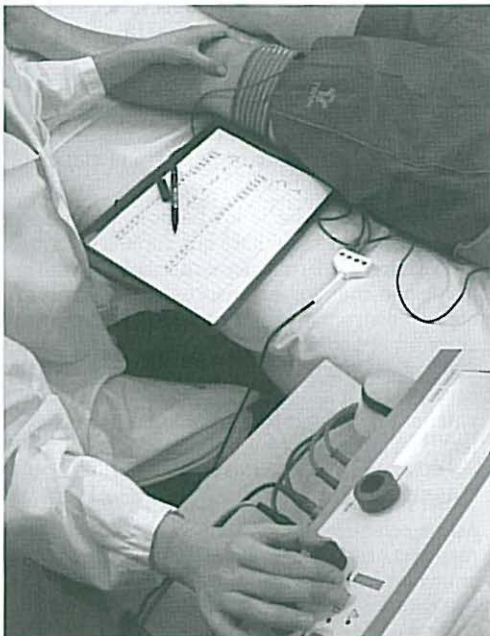


Figura 10-1. Proceso de exploración mediante curvas I/T-A/T. Una mano controla parámetros en el equipo, y la otra palpa la contracción mínima y se toma nota de los valores que se introducirán en el programa que trazará las curvas.

Para llevar a cabo este cometido, es necesario averiguar:

- En qué estado se encuentra el tejido nervioso o el muscular.
- De qué proceso patológico se trata.
- Qué tipo o forma de impulso es el mejor.
- Qué separación debe existir entre cada impulso.
- Qué tiempo debe durar cada impulso.
- Qué capacidad de acomodación mantienen las fibras musculares y nerviosas.

Estos parámetros se obtienen con la exploración que a continuación se detalla, la cual aportará abundante información sobre el estado excitomotor de los nervios y los músculos.

Fibras excitables

En primer lugar se aborda la cuestión de qué estimulan los pulsos eléctricos aplicados con estimulador de forma transcutánea:

- Si el nervio está intacto, es excitable y se desencadenan (*sobre su trayecto*) despolarizaciones en sentido aferente y eferente (el estímulo eferente termina en contracción muscular).
- Frente a una degeneración walleriana desaparece esta excitabilidad del axón antes referida, pero de forma progresiva y no total en la mayoría de los casos (el objetivo del fisioterapeuta es evitar la degeneración completa).
- La sinapsis neuromuscular (placa motora o punto motor muscular) también es excitable por estimulación eléctrica y, frente a un pulso externo, descargará la acetilcolina que provoca la contracción muscular.
- ¿Es contráctil la fibra muscular si un estímulo eléctrico directo actúa sobre ella? Debería volver a investigarse según el punto de vista de la enfermedad y no tanto del entrenamiento deportivo.

La membrana de la fibra muscular (sarcolemma) se despolariza de forma fisiológica porque la estimula la descarga de acetilcolina en la sinapsis neuromuscular cuando los pulsos eléctricos proceden del nervio. Esta membrana se comporta como el dieléctrico de un condensador, con la propiedad de que si algo rompe la resistencia del dieléctrico, se vuelve conductora. Esta membrana posee conductos de despolarización de voltaje (Na^+ y Ca^{2+}) en que, al abrirse, aparecen los potenciales de acción por la despolarización y consiguiente contracción muscular.

Según esto y las leyes de electrofísica y electroquímica, la onda eléctrica que se aplica en el medio biológico de forma artificial puede alterar, sin ningún problema, el equilibrio del citado condensador, abrir los conductos de voltaje e iniciar la despolarización del sarcolemma. Así pues, la fibra muscular puede ser excitable mediante estímulos eléctricos transcutáneos si éstos afectan de forma directa al medio bioeléctrico y a los canales de voltaje antes señalados (v. cap. 5, Fig. 5-10).

La realidad muestra que, dependiendo de la fijación de los electrodos y de las características de los pulsos, el fisioterapeuta es capaz de generar contracciones muy localizadas sobre bandas o fascículos musculares muy diferenciados o desencadenar respuestas musculares globales acordes con los trayectos de ramas nerviosas. Es interesante observar el comportamiento de la respuesta muscular, en una musculatura que sufrió denervación, después que el nervio recuperara su función (v. «Fibrosis muscular», más adelante).

Se considerará que, cuando se estimula en modo bipolar sin tocar el punto motor muscular, la respuesta es, sobre todo, muscular; si se sitúa un electrodo directamente sobre la placa motora, la respuesta es neuromuscular, y si se establece sobre trayectos nerviosos, predominará la respuesta nerviosa. Sin embargo, lo cierto es que son inseparables y se hará referencia al *conjunto neuro-músculo, incluida la*



Práctica experimental

Para observar la diferencia en la contracción en función de la anchura del pulso, se realizará la siguiente práctica sobre uno mismo o sobre un modelo que no sufra patología neuromuscular, atrofas o problemas circulatorios en las zonas que se van a referir.

La práctica puede realizarse sobre la cara dorsal del antebrazo o sobre el músculo tibial anterior de la pierna.

Se sitúan los electrodos de forma bipolar y en ambos casos el [-] en sentido distal.

Se prepara el estimulador para que emita pulsos cuadrados, monofásicos y aislados (reposos de 2 a 3 s).

Se aplicarán pulsos a los cuales se irá modificando el tiempo desde un máximo de 50 ms hasta 0,1 ms (no de 5 a 0,1 ms). Se recomienda comenzar con los tiempos largos.

Se eleva la intensidad hasta que aparezca una pequeña respuesta motora que sea visible. Se retendrá la intensidad cuando sea necesario para mantener siempre el mismo nivel de respuesta.

Se irán modificando los tiempos y se prestará atención a lo siguiente: se observará que, con los tiempos largos, la respuesta posee su forma específica de bandas musculares concretas y justamente las más influidas por la fijación de los electrodos. Con tiempos largos suele aparecer escozor bajo los electrodos, pero se soportará y no se desviará la atención de la respuesta motora.

Según se avanza hacia los tiempos cortos, de forma progresiva se notará que cambia la forma de la contracción, pues, en el caso del antebrazo, participan más los extensores que afectan al borde radial; además, se notará irradiación sensitiva en el borde radial y en los dos primeros dedos. En la pierna, con los pulsos largos, se observará la respuesta selectiva del músculo tibial anterior y con los cortos irán apareciendo los extensores de los dedos e, incluso, cierto componente de eversión (dependerá un poco de la precisión en la colocación de los electrodos).

Así se concluye que hay una selectividad en la respuesta motora que tiene que ver con la anchura de los pulsos y, si estos resultados se traspasan a una gráfica, podrán interpretarse porque marcan el mejor punto de las respuestas específicas musculares (punto útil muscular), otra zona que refleja el mejor punto para la respuesta nerviosa (punto útil nervioso) y otra tercera en que aparece una zona común a las anteriores (punto o umbral de faradización).

sinapsis neuromuscular. Esto también implica que los parámetros eléctricos serán diferentes para una situación o para la otra ante el estado de *normalidad*:

- El estímulo sobre el músculo requiere tiempos de pulso mayores de 5 ms.
- El estímulo sobre la sinapsis requiere pulsos más cortos, entre 1 y 5 ms.
- El estímulo sobre el nervio requiere pulsos por debajo de 1 ms.

Con todo, frente a denervaciones periféricas graves aparecen comportamientos de respuesta motora que sólo se consiguen con tiempos de pulso muy largos (entre 100 y 1.000 ms), situaciones propias de la fisioterapia que se dedica a patologías y no tanto al entrenamiento deportivo.

Esta práctica introduce el proceso exploratorio que a continuación se describe.

Realización de curvas intensidad/tiempo y acomodación/tiempo

Cuando el conjunto neuro-músculo se encuentra alterado en su función normal, necesita impulsos de mayor intensidad y amplitud para conseguir la despolarización de sus membranas celulares. Lo mismo ocurre con la anchura del impulso, que debe ser más larga. También, el tiempo de repolarización de la membrana se enlentece y, en consecuencia, los impulsos tendrán que separarse entre sí hasta el punto de no conseguir una contracción mantenida; ni tan siquiera, una por segundo. Además, se pierde la capacidad de acomodación frente a impulsos de subida rápida (que se describirán más adelante).

Las curvas I/T y A/T consisten en la representación de manera adecuada, en un gráfico o cuadrícula sobre papel, de la respuesta de contracción de un músculo o nervio frente a diversos impulsos eléctricos que varíen en cuanto a su forma, duración e intensidad.

Así pues, el material fundamental y necesario para obtener dichas curvas consiste en tres elementos básicos:

- A. habilidad para no perder la respuesta de referencia,
- B. un equipo de electroestimulación que lo permita y
- C. una gráfica preparada para tal fin.

A. Respuesta de referencia

Cuando se practique esta exploración, la intensidad se elevará hasta conseguir la respuesta mínima o umbral de contracción muscular (o, incluso, respuesta sensitiva si de ello se trata). Esta respuesta mínima debe apreciarse por observación palpatoria más que visual y, lo más importante, se prestará especial atención al hecho de que siempre sea la misma en cuanto a intensidad contráctil.

Si se pierde la respuesta acordada desde el inicio, deja de ser respuesta de referencia. Para que esta respuesta sea válida, es conveniente aplicar unos cuantos pulsos previos a la exploración para evitar que el efecto de facilitación neuromuscular influya en los resultados. Esto significa que, en general, los primeros impulsos requieren algo más de intensidad que los sucesivos.

Durante la exploración no se podrán modificar las circunstancias de la aplicación en cuanto a localización de electrodos, presión de éstos y modificaciones en la humedad de las esponjillas.

B. Características del electroestimulador

Las características fundamentales de un aparato adecuado para la consecución de impulsos eléctricos, con efecto excitomotor, que permitan dicho examen son las siguientes (Fig. 10-2):

- Posibilidad de producir, al menos:
 - Impulsos de subida y bajada brusca, *cua-drangulares*.

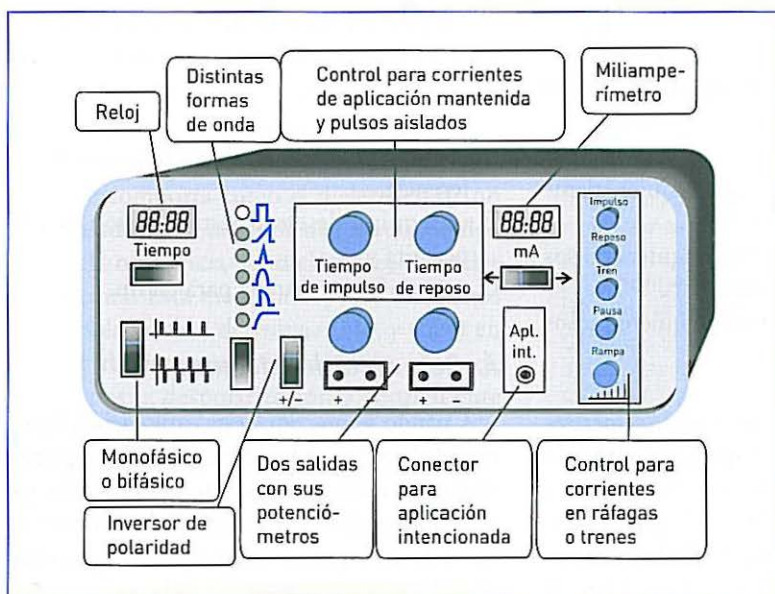


Figura 10-2. Estimulador básico de baja frecuencia.

- Impulsos de subida progresiva y bajada brusca, *triangulares*.
- Selector de corrientes para elegir, al menos, entre:
 - Aplicación de impulsos aislados.
 - Aplicación de corrientes mantenidas o frecuencia fija.
 - Aplicación de impulsos agrupados en trenes.
- Un buen regulador de tiempo de impulso comprendido entre 0,05 y 1.000 ms (Fig. 10-3).
- Un buen regulador de tiempos de reposo entre impulsos que cubra desde 0,1 hasta 10.000 ms (Fig. 10-3).
- Un regulador de tiempo para la duración de los trenes (Fig. 10-3).
- Un regulador de tiempo de pausas entre trenes (Fig. 10-3).
- Un regulador de rampa para ajustar las subidas y bajadas de los trenes (Fig. 10-3).
- Un buen regulador de la intensidad aplicada.

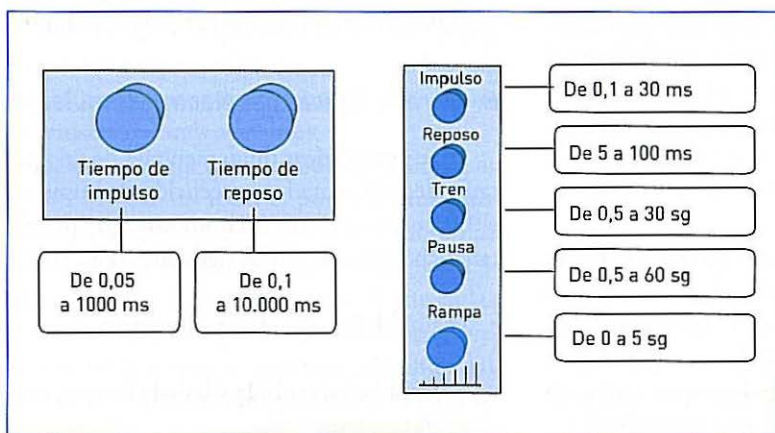
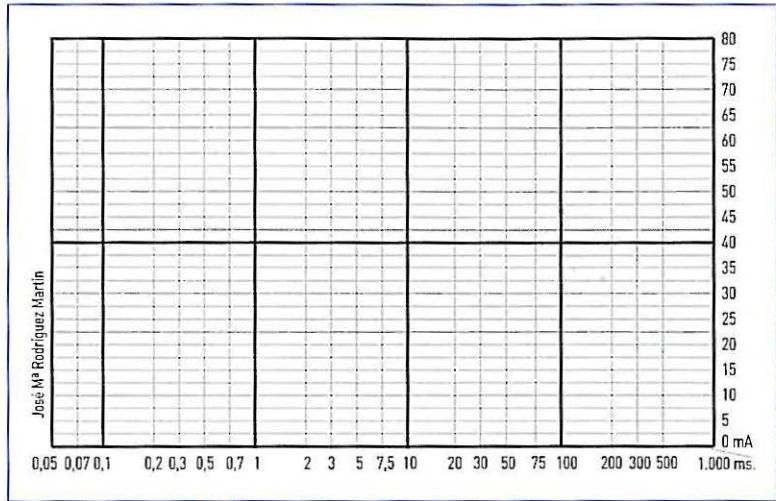


Figura 10-3. Detalle de los parámetros habituales en los reguladores de tiempo de impulso y tiempo de reposo junto con los valores para generar trenes.

Figura 10-4. Gráfica de progresión logarítmica en sentido horizontal y de progresión lineal en sentido vertical. Por lo general se la denomina lineal.



- Un buen miliamperímetro que indique la intensidad aplicada en cada pulso y refleje un valor fiable.
- Cambio de polaridad.
- Conector para mando de aplicación intencionada.
- Electrodo adecuados:
 - Dos pequeños de igual tamaño.
 - Uno grande y otro pequeño.
 - Uno grande y otro puntual o de exploración manual.

C. Características de la gráfica

La gráfica debe constar de un eje de abscisas en que estarán marcados los tiempos de duración de los impulsos aplicados, desde 0,05 hasta 1.000 ms, y un eje de ordenadas en que se aplican los valores correspondientes a la intensidad, que llegarán hasta 80 mA.

La gráfica puede ser de *progresión lineal* en sentido ascendente y logarítmica horizontal (Fig. 10-4) o de *progresión logarítmica en ambos sentidos* (Fig. 10-5).

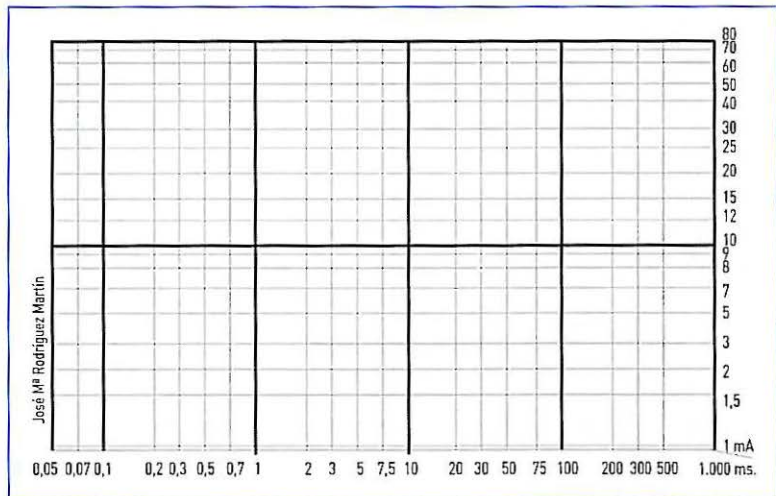


Figura 10-5. Gráfica de progresión logarítmica en ambos sentidos.

Cada gráfica presenta ventajas e inconvenientes en lo que se refiere al diseño y la representación del trazado. Las hojas de cálculo de los programas informáticos resuelven a la perfección estos problemas. Debe detallarse lo siguiente:

- La gráfica de progresión *lineal* es fácil de obtener y puede *autodiseñarse*. Además, señala con mayor detalle los accidentes que muestre la curva analizada siempre que dichos accidentes correspondan a las zonas en que la gráfica de progresión logarítmica

presente sus valores de referencia muy unidos, como en el caso de las intensidades inmediatamente por debajo de 10 mA y las cercanas a 80 mA (Fig. 10-6 A).

- La gráfica de progresión *logarítmica* es difícil de autodiseñar, pues se corre el riesgo de hacerlo mal. Sobre ésta resaltan con más detalle las alteraciones o accidentes sobre la curva estudiada, siempre que los parámetros de intensidad se encuentren inmediatamente por encima de 10 mA o inmediatamente por encima de 1 mA (Fig. 10-6 B).

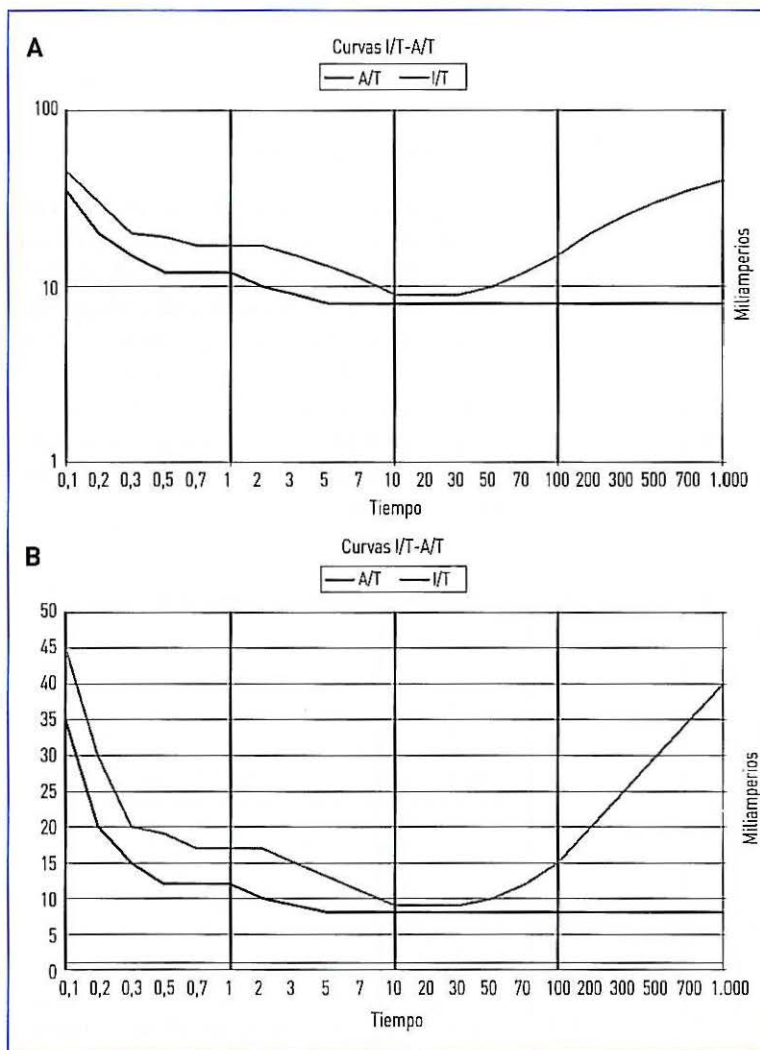


Figura 10-6. Ambas gráficas representan los mismos valores, pero (A) es logarítmica y (B) lineal.

Algunas obras sobre el tema utilizan de forma exclusiva la gráfica de progresión logarítmica aunque en los orígenes de la electroterapia se usaron más las gráficas de progresión lineal. Asimismo, se encuentran gráficas que inician sus valores de tiempo en 300 ms (útiles en algunas circunstancias, pero no en todas). Si la gráfica no alcanza los 1.000 ms no se puede apreciar bien la evolución de la acomodación, y las denervaciones graves no se reflejan con claridad. Asimismo, puede encontrarse bibliografía que hace referencia a las curvas y su gráficas que consideran tiempos entre 5 y 0,1 ms.

El hecho fisiológico en que se apoya esta exploración consiste en que un sistema «neuromuscular normal» manifiesta una respuesta de contracción, de forma que:

- Cuando el tiempo de duración del impulso (cuadrangular) disminuye, tendrá que aumentarse la intensidad para conseguir la misma respuesta (Fig. 10-7). Sin embargo esto ocurre a partir de cierto valor en el tiempo, de manera que con tiempos largos siempre es la misma intensidad, pero con tiempos cortos la intensidad aumenta cuando disminuye la anchura de pulso.

- Cuando el tiempo de los impulsos (triangulares) disminuye, aparece un comportamiento semejante al de la curva cuadrangular, pero, cuando aumentan a partir de la respuesta más baja, las intensidades van aumentando de manera progresiva porque aparece el fenómeno de acomodación que da nombre a la curva de pulsos triangulares.

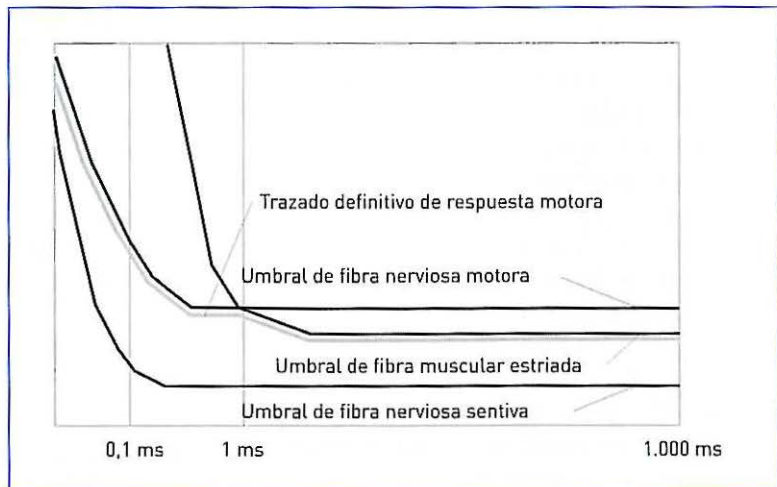
Si estos parámetros se expresan en su gráfica, se obtiene una curva parabólica invertida, y puede afirmarse que es característica y regular, la cual, a su vez, se altera si el músculo o nervio están alterados por alguna patología.

En la figura 10-7, por ejemplo, se representan tres curvas diferentes. Si se elimina la sensitiva, quedan las motoras. Si a continuación se borran los trazados más altos de las dos, aparecerá dibujado un trazado definitivo formado por las líneas más bajas de ambas o curva definitiva (zona sombreada). Desde la zona de cruce hacia la derecha se representa el músculo y hacia la izquierda, el nervio.

Así pues, la exploración se puede realizar sobre:

- músculo,
- placa motora y
- nervio.

Figura 10-7. Tres curvas de respuesta: motora muscular, motora nerviosa y sensitiva.



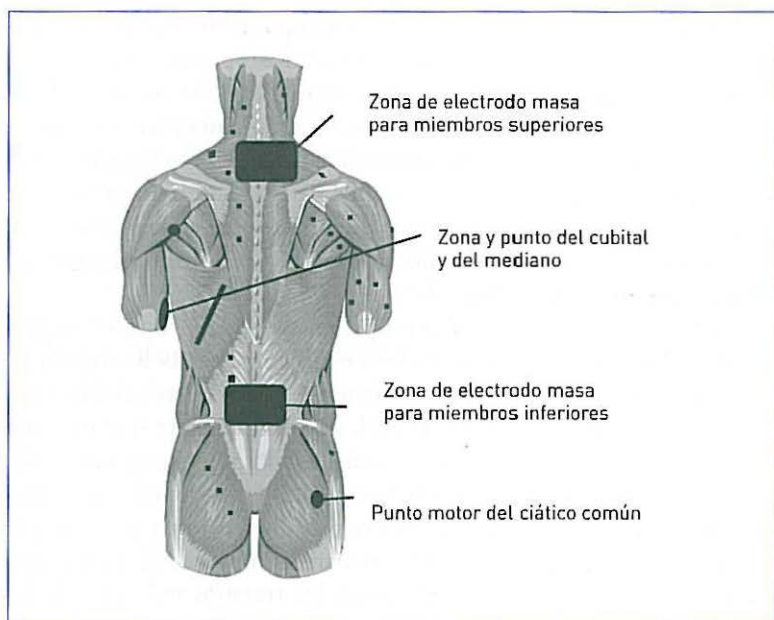


Figura 10-8. Zonas más habituales para la fijación de electrodos masa en las aplicaciones monopolares.

La exploración del nervio puede llevarse a cabo para averiguar su capacidad de respuesta sensitiva o respuesta motora, aunque esta última es difícil disociarla de la respuesta de fibra muscular a no ser que la fijación de los electrodos se localice muy precisa en los puntos de respuesta nerviosa (v. «Puntos motores nerviosos en el cap. 3»).

Formas de obtener las curvas

En cuanto a la fijación de los electrodos, se puede realizar por el método monopolar o por el método bipolar.

En el *método monopolar* (Fig. 10-8) se coloca un electrodo amplio que actúe de masa en una zona a distancia del músculo estimulado (suele localizarse en el plexo que lo inerva) y el otro electrodo, pequeño, en el punto motor nervioso o muscular. Habrá que buscar esta localización antes de elegir de forma definitiva el punto de colocación del electrodo. Por lo general se trata del cátodo [-] que se colocará en sentido distal.

Por el *método bipolar* (Fig. 10-9) se sitúan los electrodos de dimensiones similares (con

preferencia, el distal es más pequeño) en el origen y terminación de las fibras musculares (no de los tendones). En general, el cátodo [-]

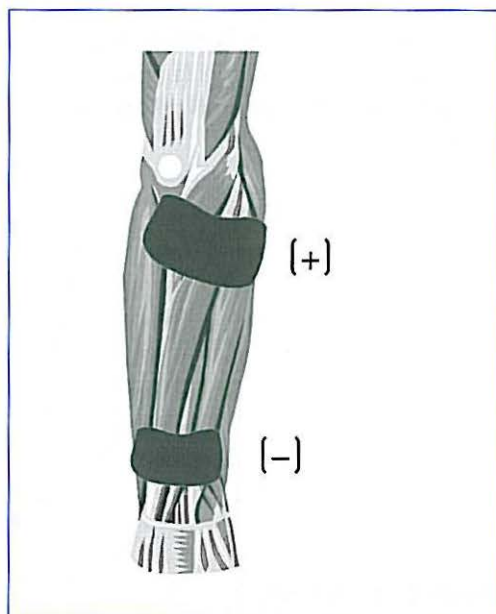


Figura 10-9. Aplicación bipolar con ambos electrodos al inicio y al final de la masa muscular.

se colocará en sentido distal aunque conviene probar la inversión de polaridad.

De forma previa se procede a la localización del mejor punto motor para la respuesta excitomotriz del músculo o del nervio. Puede llevarse a cabo con *impulsos cuadrangulares* de una duración comprendida entre 1 y 10 ms separados entre sí de 2 a 3 s siempre que el conjunto neuromuscular que va a explorarse no esté denervado. Si se está frente a una denervación, el punto motor se buscará con impulsos de subida progresiva aislados de 100 a 500 ms y se tratará de localizar el triángulo de utilidad terapéutica (TUT), que más adelante se describirá.

Es importante que, una vez que se hayan dispuesto y fijado los electrodos para la consecución de cada curva y después de localizar los puntos motores, no se muevan los electrodos. Así se conseguirán parámetros fiables a lo largo del tiempo que dure toda la exploración.

Se comienza por el trazado de la curva I/T o cuadrangular, de forma que se seleccionan al principio en el aparato aplicador impulsos de *subida rápida* o cuadrangulares con 1.000 ms de duración y un espacio entre ellos de 1 a 3 s (lo suficiente como para considerarlos aislados entre sí).

Se aumenta la intensidad de forma lenta y progresiva hasta detectar (mediante palpación) unas leves, pero claras, contracciones musculares (respuesta de referencia), momento en que se tomará nota de la intensidad marcada por el miliamperímetro para trasladarla a la gráfica mediante un punto en la coordenada donde se cruzan la vertical al tiempo elegido en ms y la horizontal a la intensidad en mA.

De manera sucesiva, se repite lo mismo con otro tiempo inmediatamente inferior hasta completar los señalados en la gráfica con sus puntos correspondientes, los cuales se unirán con una serie de rectas sucesivas (*no debe redondearse con una curva continuada*; Fig. 10-10).

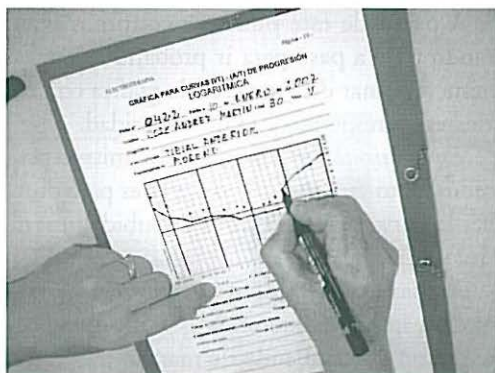


Figura 10-10. Se trazan los tramos de rectas entre punto y punto marcados en la gráfica según los valores obtenidos.

Es fundamental dedicarse a la observación directa de la respuesta de contracción sin estar pendiente (*a priori*) de lo marcado por el miliamperímetro hasta que se haya decidido que la respuesta palpada es suficiente. Después se leerá el miliamperímetro y se tomará nota de lo señalado. Es mejor hacerlo así para evitar subjetividades, pues si se permanece con la vista puesta en los miliamperios, se puede decidir por un valor determinado, ya que se considerará mejor la respuesta deseada que la detectada.

A modo práctico, dado que los pulsos muy largos molestan al paciente, hay que ser rápidos en los primeros puntos (entre 1.000 y 100 ms) o iniciar la curva con 300 ms en lugar de 1.000 ms. Cuando se adquiere práctica, en general se avanza de forma rápida por los tiempos de pulso, al disminuir sus valores, hasta notar que (con la misma intensidad) se pierde la respuesta inicial. En ese punto, se vuelve hacia atrás para recuperar la respuesta motora que se acaba de perder, con la intensidad ajustada de inicio. Se marca el último punto o valor con la respuesta de referencia y será el punto útil. Ya se obtiene una línea recta entre 1.000 ms y el punto útil (que más adelante se describirá). Este atajo sólo se utiliza en las curvas I/T o cuadrangulares; no es aplicable a las triangulares.

A partir de este punto se continúa avanzando paso a paso para ir probando tiempos hasta terminar de completar la gráfica con sus ajustes correspondientes de intensidad.

En la misma gráfica se repite el mismo procedimiento con pulsos triangulares para obtener la curva A/T (impulsos de subida progresiva y bajada brusca).

Ambas curvas se han obtenido de forma que los impulsos fueron largos al principio y se fueron descendiendo de manera progresiva hasta el menor (desde 1.000 hasta 0,05 ms). Sin embargo, desde el punto de vista práctico, es recomendable comenzar ambos trazados con 300 o 400 ms para finalizar los extremos de la derecha por aproximación o realizar búsquedas rápidas de la posible intensidad, ya que los tiempos largos suelen resultar molestos para el paciente, sobre todo, en la curva de acomodación con pulsos triangulares.

Por lo tanto, la curva A/T o triangulares se realizará comenzando por pulsos de unos 300 ms: se buscará la intensidad y la respuesta, se bajará la intensidad, se pasará a 200 ms, se buscará y se bajará la intensidad, se pasará al siguiente valor menor, etc. Después de terminar por la izquierda, se volverá a 500 y 1.000 ms para, de forma rápida, concluir la con la menor molestia posible.

Es importante discriminar la palpación de la contracción perteneciente a los músculos explorados para no confundirla con la respuesta de otros músculos próximos. Si se realiza la exploración sobre la base de la palpación de la respuesta contráctil, habrá que entrenarse de forma adecuada, fijarse bien en la respuesta considerada como buena y, por último, saber que las contracciones musculares de los impulsos largos son algo distintas a las contracciones de los impulsos cortos.

Las curvas I/T-A/T de un músculo normal son distintas de las curvas de un músculo afectado por alguna patología y, dentro de ellas, se diferenciarán las que, sobre todo, van a indicar:



Práctica indicada

Modo rápido de realizar una curva o parte de una curva



Video 10-1. Curvas I/T-A/T ayudadas

Una de las razones por las cuales se realizan pocas curvas o parte de una curva es la lentitud por el tiempo empleado, que con la debida práctica en realidad se reduce mucho. Por ello es importante que se busquen alternativas de rapidez y eficacia. Una forma rápida y práctica se describe a continuación.

Se fijan los electrodos sobre el paciente, el fisioterapeuta se sienta frente al paciente con fácil acceso para palpar la zona explorada y acerca el estimulador para un fácil manejo de los mandos.

Se le entrega al paciente unas hojas previamente diseñadas que contienen una tabla con celdas vacías para completar al lado de los tiempos de pulsos y valores más frecuentes en el análisis de las curvas.



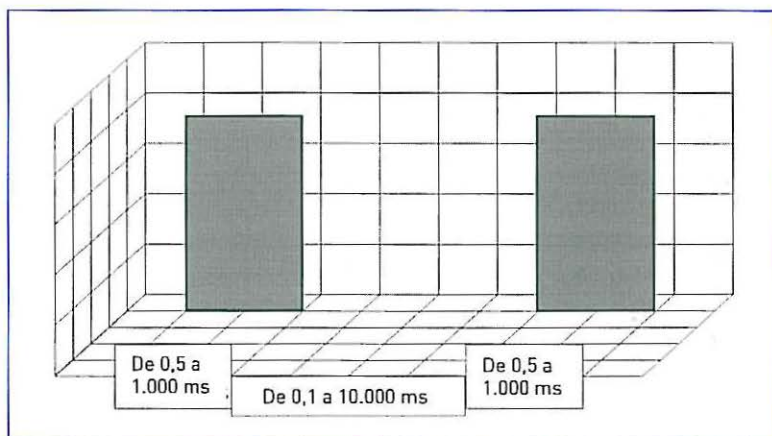
Anexo 10-1. Fichas para captura de datos, gráficas para curvas y fichas para seguimiento de los tratamientos

Se le solicita al paciente colaboración para que anote los valores de intensidad que se le indiquen al lado del tiempo correspondiente.

Se inicia la exploración y el fisioterapeuta se concentra en los ajustes de tiempos y retoques de intensidad, y presta atención a las variaciones en la respuesta palpada. Se comprueba el tiempo usado y la intensidad ajustada, y se le dictan al paciente los parámetros que debe anotar. Se continúa procediendo de esta manera hasta que concluya la exploración o se detenga ésta donde se considere suficiente.

Esta tabla completa de forma rápida y sin perder tiempos, pues no se detiene en cada punto, se traspasa en un momento a la gráfica del programa informático y con rapidez, en el momento o al día siguiente, se dispone de la curva para su análisis.

Figura 10-11. Se aplican pulsos aislados cuadrangulares en toda la gama de tiempos separados entre 2 a 3 s.



- el tipo de lesión;
- el grado de la lesión;
- el tipo de estímulo adecuado, en forma y tiempo, que debe aplicarse para su tratamiento;
- el reposo o separación entre impulsos;
- si pueden provocarse contracciones tetánicas secuenciadas, o si,
- por el contrario, se está obligado a realizar las contracciones de forma aislada.

En los casos en que se desee explorar afecciones por denervación seria, es recomendable comenzar por la curva triangular o de *acomodación* con el fin de detectar la respuesta adecuada del músculo afectado y no la de los próximos, en mejor estado, que pueden conducir a error. Este fenómeno se comprenderá más adelante.

Las curvas (dentro de unos márgenes) poseen sus parámetros característicos, que van a servir como puntos de referencia para comparar los distintos resultados obtenidos en las sucesivas exploraciones que se realicen. El fisioterapeuta se fijará en estos parámetros para llevar a cabo el estudio de dichos resultados.

Parámetros característicos de la curva I/T de normalidad con impulsos cuadrangulares

La representación de esta curva indica cómo responde una fibra nerviosa o una fibra

muscular frente a estímulos eléctricos bruscos e invasivos (cuadrangulares) que provoquen la despolarización de la membrana con la mayor eficacia posible (Fig. 10-11).

La curva de la figura 10-12 está trazada tomando como referencia los parámetros de normalidad. Mostrará los siguientes parámetros:

- rama reobásica,
- rama cronáxica,
- reobase,
- punto o tiempo útil muscular,
- cronaxia,
- punto o tiempo útil nervioso,
- escalones,
- punto de faradización y
- zona cuadrangular de respuesta.

Reobase (Fig. 10-12). Es la *intensidad* mínima necesaria para que se inicie la contracción (respuesta umbral) con un impulso cuadrangular de 1.000 ms.

Punto o tiempo útil muscular (Fig. 10-12). Es el *tiempo* correspondiente al punto en que la curva comienza su ascenso (el último valor antes de ascender). Indica el tiempo del impulso óptimo para emplear como tratamiento de forma directa sobre fibra muscular. Los valores en músculos normales se encuentran entre 1 y 10 ms.

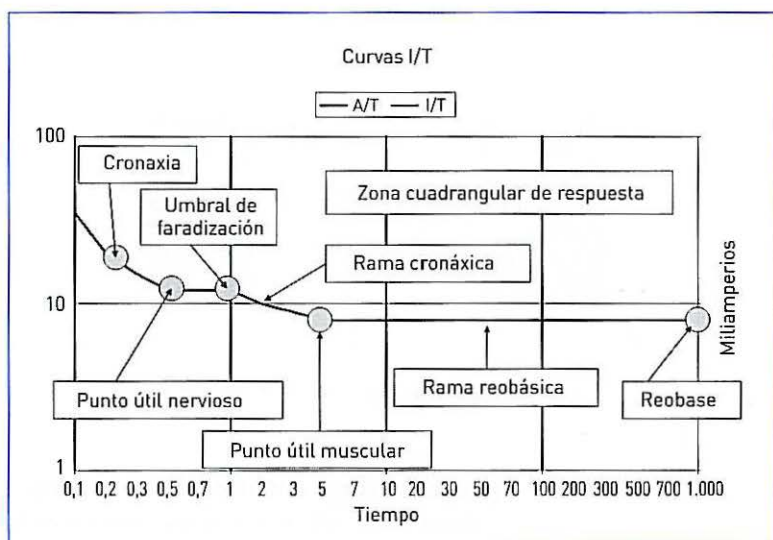


Figura 10-12. Curva cuadrangular o de intensidad/tiempo (I/T).

Lógicamente, si se utiliza este tiempo como impulso para el tratamiento, la intensidad deberá ser mayor a la reobase, ya que en el tratamiento no se busca la respuesta mínima, sino la mayor eficacia con el menor tiempo posible y una contracción sin producir molestias o daños.

Este punto útil se desplazará de forma progresiva hacia arriba y hacia la derecha de la gráfica cuanto mayor sea el grado de denervación. Sin embargo, si la patología no es por denervación, el punto útil se desplazará hacia arriba, sobre todo, e indicará alteraciones de fibrosis musculares mientras se mantiene buena la actividad nerviosa.

Umbral de faradización (Fig. 10-12). Es el *tiempo* necesario para la respuesta motora con un impulso cuadrangular localizado en el escalón. Este punto también se puede trazar sobre la curva triangular. El valor medio oscila entre 1 y 2 ms, y se emplea como tiempo de impulso estándar en las farádicas.

El umbral de faradización queda marcado por el vértice del escalón, donde coinciden los niveles de respuesta muscular y nerviosa.

Punto o tiempo útil nervioso (Fig. 10-12). Es el *tiempo* correspondiente al punto en que

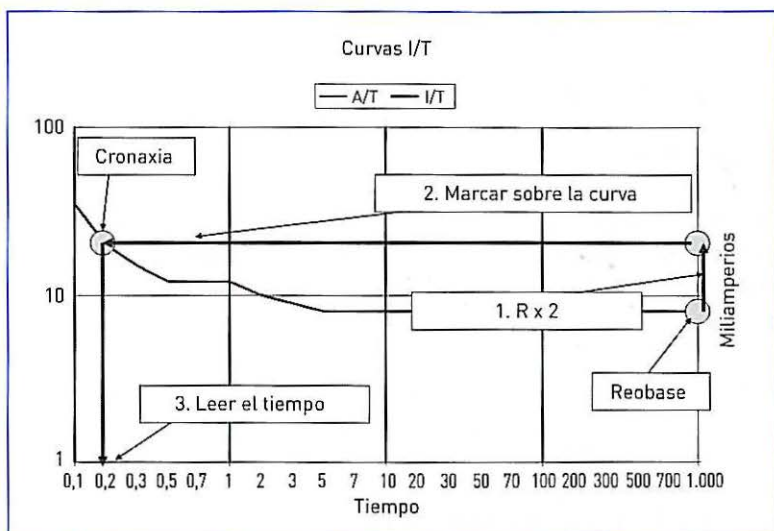
la curva reinicia el ascenso después del escalón (escalón que no siempre queda bien dibujado). Indica el tiempo de impulso óptimo para emplear como tratamiento directamente sobre fibra nerviosa. Los valores en fibras normales se hallan entre 0,1 y 1 ms.

Cronaxia (Fig. 10-13). Es el *tiempo* que está determinado por la respuesta umbral con el doble del valor de la reobase, es decir, se calcula el doble de la intensidad de la reobase, se sigue la abscisa del valor doblado y se marca dicho valor calculado en un punto del trayecto de la curva cuadrangular; se lee la vertical al punto marcado y éste es el valor de *tiempo* correspondiente a la cronaxia.

El tiempo de cronaxia se «empleaba» como dato *cuantitativo* (junto con la reobase y el cociente de acomodación) para el diagnóstico rápido y por aproximación. Sin embargo, como fisioterapeutas, puede resultar un valor poco relevante a no ser que se tome dicho valor como tiempo de impulso para diseñar ciertas corrientes, como así lo sugieren algunos autores y escuelas.

Tiene relación directa con la altura de la reobase, con el grado de inclinación de la rama cronáxica y con la longitud de la rama reobásica.

Figura 10-13. Para hallar la cronaxia: 1) se multiplica por 2 el valor de la reobase; 2) se traslada el valor por la accisa hasta el cruce con la curva y se marca, y 3) se lee el tiempo coincidente con el punto de cronaxia.



sica. Su valor normal está comprendido entre 0,1 y 0,4 ms. A título orientativo, podría resumirse con la afirmación de que un sistema neuromuscular está:

- Débilmente afectado (valor normal entre 0,5 y 1 ms).
- Francamente afectado (valor normal entre 1 y 10 ms).
- Muy afectado (valor normal entre 10 y 100 ms).
- Totalmente afectado (valor normal con más de 100 ms).

Rama reobásica (Fig. 10-12). Es el tramo de la línea cuadrangular que va desde el punto de tiempo útil muscular hasta el punto de reobase. Siempre es recta y está limitada por el punto de tiempo útil y la vertical de 1.000 ms. Su falta de homogeneidad consiste en la mayor o menor longitud y altura en la gráfica.

El tiempo medio delimitado por el punto útil para la respuesta de normalidad se encuentra entre la vertical de 1 y de 10 ms.

La altura media oscila (dependiendo del método y la perfección de la exploración) entre 5 y 15 mA:

Práctica experimental

Se va a hallar la cronaxia de un músculo tibial anterior de forma práctica y sin realizar la curva completa.

Se fijan dos electrodos pequeños sobre el músculo tibial anterior en forma bipolar. En este caso suele ir mejor el [-] en sentido proximal. Se ajustan en un equipo de baja frecuencia pulsos cuadrangulares de 1.000 ms (sirven también 200, 300 o 500 ms) separados de 2 a 3 s y se eleva la intensidad:

- Al encontrar la primera respuesta umbral (palpando), se toma nota de la intensidad (supóngase que fue de 9 mA).
- Se multiplica por dos el valor obtenido (según el supuesto, 18 mA).
- Se traslada el valor de los milisegundos a la mínima cifra de tiempo posible.
- En el valor menor, se eleva la intensidad hasta el doble de la reobase (en este supuesto, a 18 mA) para no modificarla durante el resto de la prueba.
- Suponiendo que no hubiera aparecido la respuesta umbral palpada, se aumenta (paso a paso) el valor de tiempo de pulso hasta que aparezca el primero con el cual se palpa respuesta motora (igual a la que hubo con la reobase).
- En el momento en que se considere que se halló la respuesta motora, se lee el tiempo de pulso empleado y se toma nota.

Con este tiempo anotado, se ha encontrado el tiempo de cronaxia.

- *Corta y alta*: pérdida de capacidad de respuesta.
- *Larga y baja*: hiperexcitabilidad.

Rama cronáxica. Es el *tramo de línea cuadrangular* (Figs. 10-12 y 10-13) que va desde el punto o tiempo útil muscular hasta su final, ascendiendo y pasando por la cronaxia hacia su terminación en la vertical de 0,05.

Escalones (Fig. 10-14). Es un cambio de sentido en la trayectoria de la *rama cronáxica* (fenómeno habitual y normal con un escalón o más de uno) porque, en el ascenso de la respuesta muscular, reaparece el final de la *rama reobásica* del nervio, que marca el punto de faradización en el borde del escalón.

Los escalones en determinadas zonas de las gráficas (logarítmicas o lineales) pueden pasar inadvertidos, por lo que, en caso de interesar un análisis detallado de determinado escalón, se llevará a cabo una exploración metódica sobre el soporte que se considere más oportuno (Fig. 10-6).

 Anexo 10-2. Curvas I/T-A/T lineal y LOGR

El referido escalón (Fig. 10-14) refleja el último tramo de la *rama reobásica* del nervio, el cual reaparece cuando la fibra muscular pierde capacidad de respuesta frente a los estímulos cortos, mientras que el nervio todavía mantiene una buena respuesta con los tiempos cortos. Sin embargo, el nervio muestra el umbral de respuesta más alto que la fibra muscular a los tiempos largos.

A partir del escalón, la respuesta y calidad de la contracción cambia debido a la participación de las distintas raíces nerviosas que desencadenan la respuesta de varias placas motoras, ya que comienza a predominar la estimulación del nervio correspondiente en la zona, mientras que pierde efectividad la respuesta de las fibras musculares inmediatamente debajo del electrodo, las cuales se contraían antes y mejor con tiempos de impulso más largos.

Los electroestimuladores de baja frecuencia suelen presentar la corriente farádica con tiempos de impulso que coinciden en las proximidades del cruce de las dos curvas, con lo cual se estimula de manera simultánea tanto la fibra muscular como la fibra nerviosa. Según los valores del caso concreto de la *figura 10-14*, si se desea estimular el músculo, se

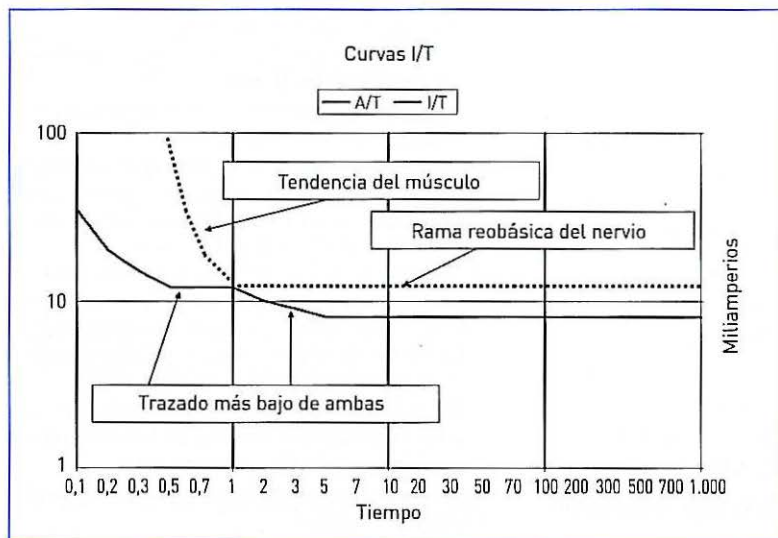


Figura 10-14. Curvas I/T-A/T de normalidad. El escalón se debe al cruce de dos hipotéticos trazados: la respuesta muscular y la nerviosa. Al ser diferentes, el trazado definitivo se forma con la parte más baja de ambas.



Práctica experimental

Para diferenciar la respuesta muscular de la respuesta nerviosa se realiza la siguiente aplicación.

Se fijan dos electrodos pequeños o medianos sobre la cara posterior del antebrazo para estimular la musculatura epicondilea de forma bipolar. La polaridad conseguirá la mejor respuesta (suele ir mejor el [-] en sentido distal).

Deben ajustarse los pulsos cuadrangulares separados de 2 a 3 s. Se probarán los siguientes tiempos de pulsos: 30; 20; 10; 5; 2; 1; 0,5; 0,3, y 0,1 ms. Hay que elevar la intensidad que requiera cada tiempo para conseguir una respuesta visible (tratando de que siempre sea semejante).

En esta prueba no se valora la cantidad de contracción, sino la forma en que responde la musculatura. Quizá se irá apreciando que los tiempos largos producen la respuesta muscular y el gesto articular de determinada manera, que irá modificándose, según se realicen pruebas con los tiempos cortos.

Con los tiempos más cortos se observará que el gesto articular es diferente porque se contraen músculos distintos y el modelo o paciente manifestará que los estímulos eléctricos poseen un componente de irradiación sensitiva hacia la mano.

Esto indica que los tiempos largos contraen la banda muscular comprendida entre los dos electrodos. Cuando se aplican tiempos cortos, se estimula de manera selectiva el nervio motor (también el sensitivo) y éste provoca la respuesta muscular de todos los músculos inervados por él en la zona.

hará con el tiempo útil correspondiente a la fibra muscular (5 ms) mientras que, si se pretende estimular el nervio, se utilizará el tiempo del punto útil del nervio (0,5 ms).

Zona cuadrangular de respuesta (Fig. 10-12). Es toda la *zona de la gráfica* delimitada por la curva a la derecha y encima de ésta, lo que indica que en cualquier punto elegido dentro de esta zona se obtendrá una respuesta

Por lo expuesto en los párrafos anteriores, se comprende la idea de que «la curva en realidad no es una curva, sino una sucesión de rectas que une los puntos marcados en la exploración». Si se dibujara una curva redondeada, se correría el riesgo de perder detalles o escalones que pueden resultar de utilidad.

(motora y/o sensitiva, según lo explorado) con impulsos cuadrangulares.

¿Qué se obtiene en realidad con la curva I/T o cuadrangular?

1. La curva I/T orienta de forma clara hacia la patología que se padece aunque no se puede separar de la información aportada por la curva de acomodación o de impulsos de subida progresiva.
2. Se averigua la intensidad mínima necesaria con los distintos tiempos de impulso para despolarizar la membrana de las células nerviosas o musculares, y se las obliga a que respondan con contracción muscular.
3. Dado que la contracción muscular o efecto excitomotor se puede conseguir con multitud de corrientes o formas de impulsos, la curva indica que la forma más eficaz para conseguir dicho objetivo son los impulsos de subida vertical mientras se mantiene durante un tiempo el máximo de intensidad para desaparecer de forma brusca (aunque la bajada rápida no tiene la importancia de la subida).
4. Si la subida de los impulsos empleara un tiempo en conseguirlo, la célula intentaría acomodarse y con ello se falsearían los resultados. Al aplicar impulsos de subida progresiva, también se provocará una respuesta motora, punto que se indicará en la gráfica, pero se comprobará cómo la intensidad necesaria es mayor por el intento de acomodación de la célula.
5. Se averigua el mejor tiempo de impulso para tratamiento.

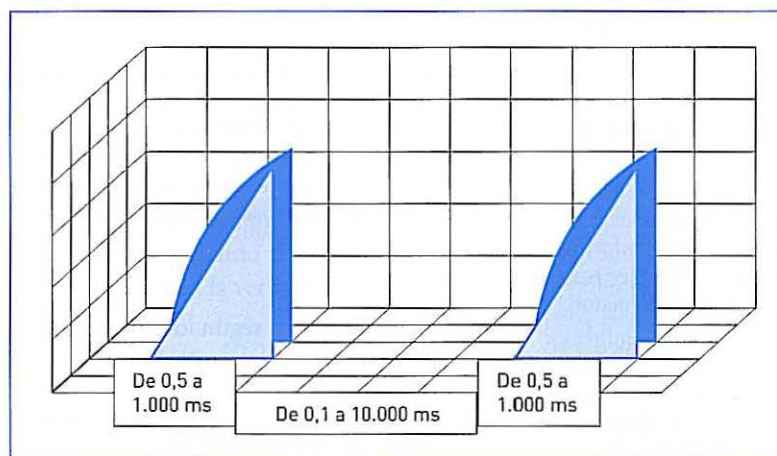


Figura 10-15. Los pulsos triangulares de subida progresiva son los adecuados para realizar la curva A/T. Los pulsos exponenciales introducen imperfecciones y están anticuados.

6. Se descubre si es factible practicar tratamientos con trenes de corrientes farádicas y qué características deben poseer los trenes.
7. Se determina si interesa estimular con preferencia al nervio o al músculo.
8. Se descubre cuál es el mejor tiempo de impulso para estimular de forma selectiva al músculo, al nervio o a ambos de manera simultánea.

Parámetros característicos de la curva A/T de normalidad con impulsos de subida progresiva

Se aplican impulsos *aislados* de *subida progresiva* (Fig. 10-15) hasta alcanzar el máximo en el pulso, del cual de inmediato se produce un *descenso brusco*. No deben usarse pulsos triangulares de subida y bajada progresivas.

En cuanto a la nomenclatura de los impulsos utilizados para obtener la curva de *acomodación*, es mejor referirse a ellos como *impulsos de subida progresiva*. Los estimuladores antiguos sólo podían ofrecer impulsos de subida exponencial, por lo que, en general, se hacía referencia a impulsos exponenciales. Los electroestimuladores modernos ofrecen la posibilidad de elegir entre subida de progresión exponencial o lineal, pero es más lógico usar los de subida lineal (triangulares).

Los parámetros más importantes (sin reflejar patología) que va a manifestar esta curva son los siguientes (Fig. 10-16):

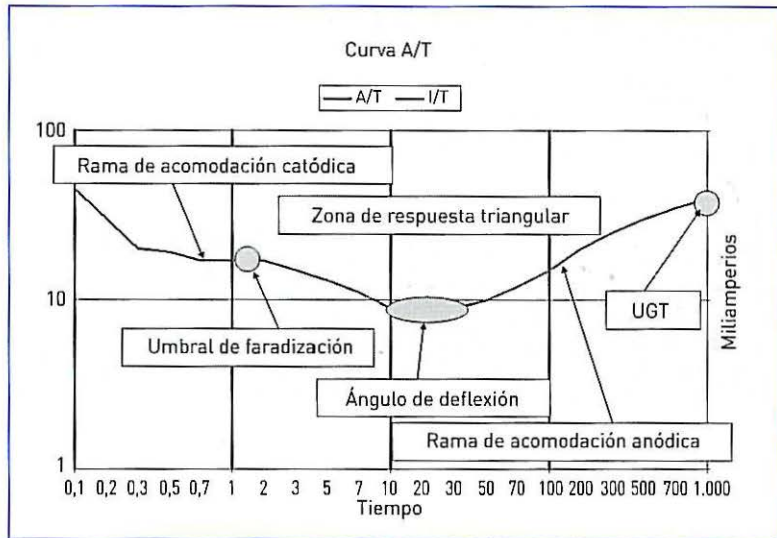
- umbral gálgano tétano (UGT),
- ángulo de deflexión,
- índice de faradización,
- rama de acomodación anódica,
- rama de acomodación catódica o de faradización y
- zona de respuesta triangular.

Umbral gálgano tétano (UGT) (Fig. 10-16). Es el punto situado en la misma vertical que la reobase, es decir, la *intensidad* mínima necesaria para producir una contracción muscular con un impulso de subida progresiva en 1.000 ms.

El valor del UGT se divide entre la reobase para obtener el *índice de acomodación*. Así pues, la consecución de este parámetro sólo se halla con el fin de calcular un valor numérico que va a ser dividido entre la reobase para conocer un *cociente* o índice.

Ángulo de deflexión (Fig. 10-12). Refleja el *tiempo* correspondiente al punto o valle donde la curva termina de descender para comenzar de nuevo el ascenso. Indica el mejor tiempo de impulso de subida progresiva para

Figura 10-16. Curva triangular o de acomodación/tiempo (A/T). UGT: umbral galvano tétano.



conseguir la respuesta motora con menor intensidad de toda la curva aunque no suele emplearse como tiempo de tratamiento por las razones que se detallarán cuando se describa el TUT, más adelante.

El trazado normal del ángulo de deflexión suele estar situado entre las verticales de 10 ms y de 50 ms, pero, si se encuentra desplazado hacia la derecha, indica afectación patológica y va a ser un parámetro que, junto con otros, mostrará el grado de afectación.

La mayor o menor distancia que pueda existir entre el ángulo de deflexión y la vertical de los 1.000 ms suele ir pareja con la longitud de la rama reobásica de la curva cuadrangular.

En los trazados que reflejen normalidad o alteraciones moderadas, se tomarán los valores de los tiempos del ángulo de deflexión como tiempos de los reposos entre impulsos para diseñar trenes de farádicas.

Umbral farádico (Figs. 10-12 y 10-16). En la curva triangular es un parámetro con cierta confusión. Se considera el *tiempo* necesario para la respuesta motora con un impulso pro-

gresivo entre 1 y 2 ms o la *intensidad* con los mismos tiempos de 1 a 2 ms. Antes de continuar, debe volver a aclararse que, aunque se hace referencia al punto de *faradización* sobre la curva de acomodación, en la práctica y con los aparatos modernos es más útil colocar el *punto de faradización* sobre la rama cronáxica de la cuadrangular.

Antiguamente, las corrientes farádicas se formaban con impulsos triangulares; hoy día, se prefieren cuadrangulares porque disponen de una subida más rápida y ofrecen mejores resultados a menor intensidad (salvo que aparezca cierto nivel de atrofia muscular). Si las curvas no tocan la vertical de 1 ms, no existirá intensidad válida como tratamiento.

Dado que los trenes de farádicas (farádica clásica) en general están formados por impulsos de 1 a 2 ms y reposos de unos 20 ms, se necesita saber si los impulsos de dicha duración serán capaces de estimular la contracción de un músculo. Por ello, como se ha descrito, si la rama de faradización corta la ordenada vertical de 1 ms, dicha intersección indicará la *intensidad* mínima necesaria para aplicar ese tiempo de impulso como tratamiento (dentro del tren; Fig. 10-17; v. «Farádicas», en el cap. 11).

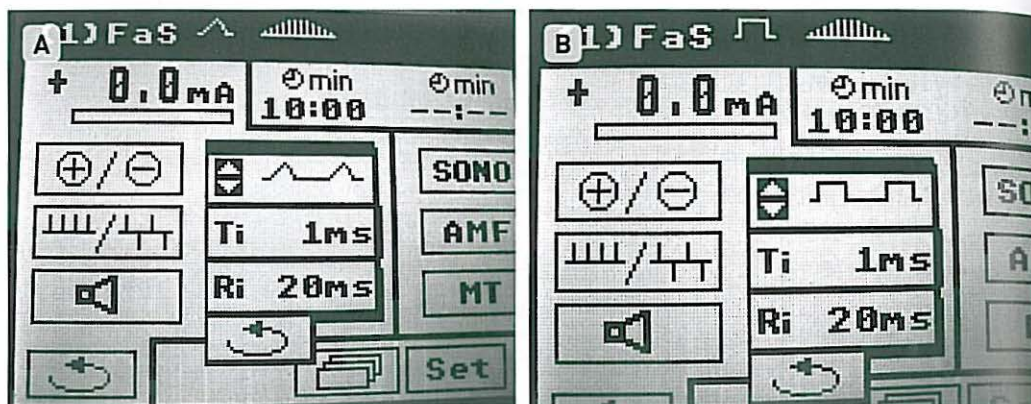


Figura 10-17. A) Ajustes de una corriente farádica en la que se ha seleccionado una forma de pulso triangular. B) Ajustes de la farádica en la que se ha seleccionado forma de pulso cuadrangular.

Rama de acomodación anódica (Fig. 10-16). Es el tramo de línea que va desde el punto de origen, UGT, hasta el ángulo de deflexión y se caracteriza por su forma y ángulo de inclinación.

Entre el ángulo de deflexión y la vertical de 1.000 ms, los impulsos son tan largos que el gradiente de subida presenta poca inclinación, por lo que la membrana celular dispone de tiempo suficiente para acomodarse y superar la subida del impulso, pero, al retirarlo de forma brusca, responde contrayéndose. Este fenómeno será referido y analizado con más detalle en «Observaciones sobre el fenómeno de acomodación», más adelante.

El análisis de este tramo de la curva nos informa de forma rápida y cualitativa (con su grado de inclinación) sobre la capacidad de acomodación del sistema explorado de forma que (Fig. 10-13):

- Rama tendente a la horizontal = pérdida de la acomodación.
- Rama hacia 45° o más de 45° = acomodación normal.

En ocasiones, no podrá hallarse el valor numérico del índice o cociente de acomodación, ya que esta rama sale de la gráfica por su borde

superior (Fig. 10-18) sin indicar el UGT. Entonces se recurrirá a la observación cualitativa de su inclinación.

Rama de faradización o acomodación catódica (Figs. 10-16 y 10-19). Es el tramo de la línea que se dibuja desde el ángulo de deflexión hasta su final por la izquierda, puede pasar por la *vertical de faradización* (1 ms) o no. Mostrará las respuestas a tiempos de impulsos cortos, lo suficientemente cortos como para superar el umbral de polarización cuando sube el impulso, aunque la célula haya intentado acomodarse.

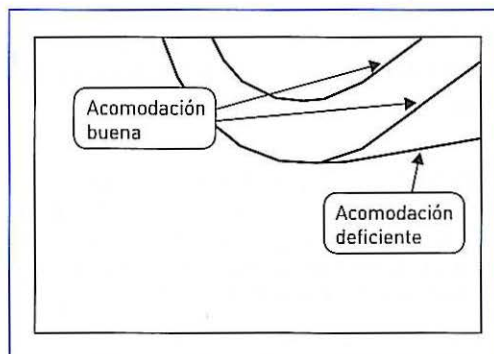
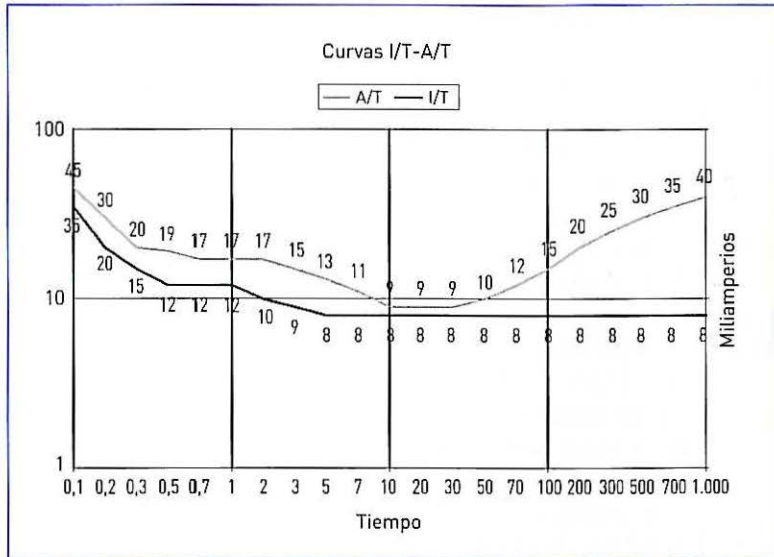


Figura 10-18. La curva puede estar más o menos alta, pero la inclinación de la rama de acomodación anódica puede igualarse y ascender o tender al paralelismo con la abscisa.

Figura 10-19. Curvas I/T-A/T que indican normalidad del conjunto neuromuscular. Reobase: 8 mA; umbral galvano-tétano [UGT]: 40 mA; punto útil muscular: 5 ms; punto útil nervioso: 0,5 ms; umbral farádico en I/T: 1 ms; cronaxia: $\pm 0,25$ ms; umbral farádico en A/T: 2 ms; ángulo de deflexión: 10-30 ms; cociente de acomodación: 5.

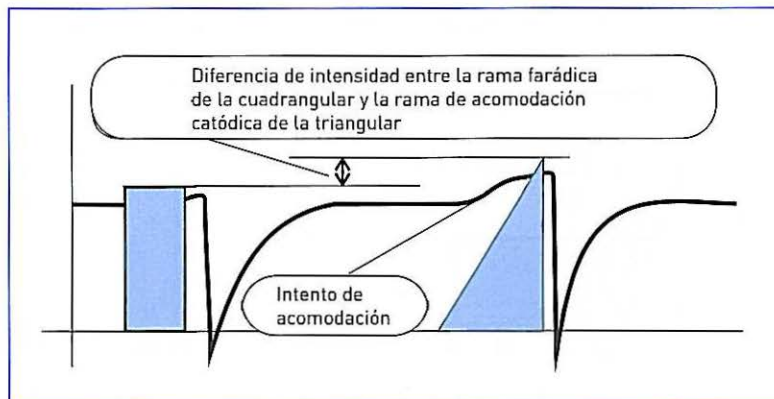
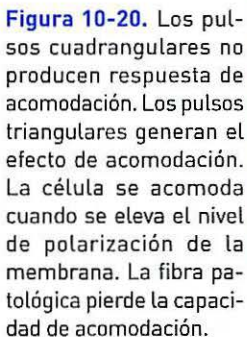


Esta rama mantiene el paralelismo con la cuadrangular (Fig. 10-19) porque obedece a la misma ley de «a tiempos de impulsos cortos, intensidades altas; a tiempos de impulsos más largos, intensidades bajas». La separación entre esta línea y la cuadrangular se debe al intento de acomodación de la membrana, de manera que frente a dos impulsos de la misma duración, si la subida es rápida, la célula se sorprenderá en su nivel de polarización habitual. Sin embargo, si la subida es lenta, la célula elevará su umbral y el impulso deberá ser más intenso para conseguir superarlo (Fig. 10-20).

El ángulo de deflexión reflejaría el punto donde coincide el doble efecto de acomodación: por un lado, mínima intensidad con mejor respuesta y, por el otro, mínima reacción de acomodación.

Esta rama suele sufrir las alteraciones y deformaciones de la rama cronáxica cuadrangular, lo que indica también posibles alteraciones patológicas que pueden coincidir con lo indicado en la rama cronáxica o no (Fig. 10-20).

Zona de respuesta triangular. Es la zona superior a la concavidad de la curva; indica que



cualquier punto comprendido dentro de ella señala unas coordenadas que garantizan la respuesta de contracción con pulsos triangulares.

Índice o cociente de acomodación (Fig. 10-21). Este valor es un parámetro obtenido de las dos curvas. Para ello se divide el UGT entre la reobase. Indica de forma *cuantitativa* la capacidad de acomodación.

El hecho de que estos valores se localicen a mayor o menor altura en la gráfica no es representativo al 100 % del nivel de excitomotricidad, ya que influyen muchos factores que pueden hacer variar la intensidad o parte de la corriente aplicada que llega al músculo o al nervio, como humedad de los electrodos, tamaño de los electrodos, zona de colocación de

los electrodos, forma de detectar el grado de contracción, edema, polaridad, técnica usada, edad, etcétera.

Lo verdaderamente importante es la proporción existente entre ambas cantidades, con las cuales se obtiene el índice de acomodación al dividir:

$$\frac{\text{Umbral galvano tétano}}{\text{Reobase}} = \frac{\text{UGT}}{R} = \text{Cociente de acomodación}$$

El cociente de acomodación se representa con los siguientes valores:

- Pérdida severa de la acomodación, cociente menor que 2.

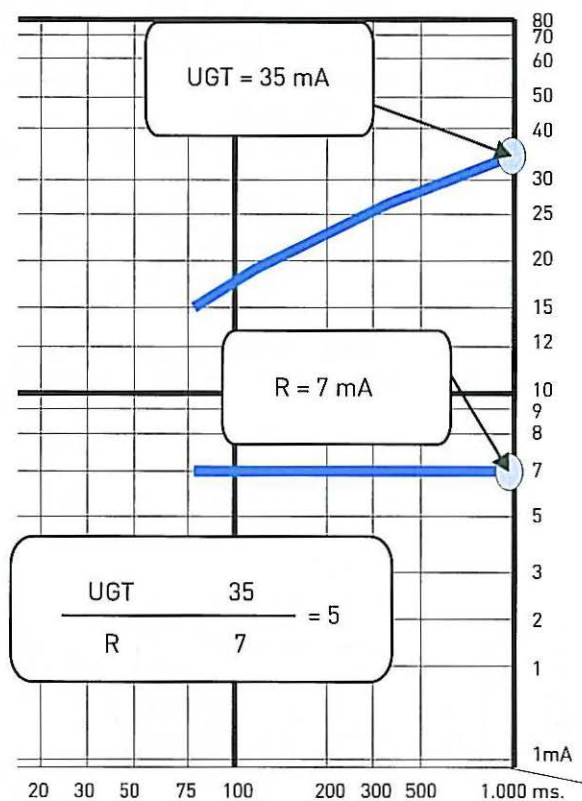


Figura 10-21. El umbral galvano tétano (UGT) dividido entre la reobase (R) es igual al cociente de acomodación.

- Pérdida parcial de la acomodación, cociente entre 2 y 3.
- Acomodación normal, cociente entre 3 y 7 (habitual 5)
- Hiperexcitabilidad a la acomodación, cociente mayor que 7.

Este valor o cociente se utilizaba como referente en el diagnóstico. Para los fisioterapeutas no aporta información digna de tener en cuenta si se consideran las curvas más como elemento de tratamiento que como elemento de diagnóstico.

Observaciones sobre el fenómeno de acomodación

Se ha descrito con anterioridad que, cuando los estímulos eléctricos procedentes del propio sistema nervioso motor rompen el desequilibrio eléctrico existente entre el interior de una fibra muscular o nerviosa y su exterior, éstos producen despolarización con reacciones químicas que conducen al proceso contráctil.

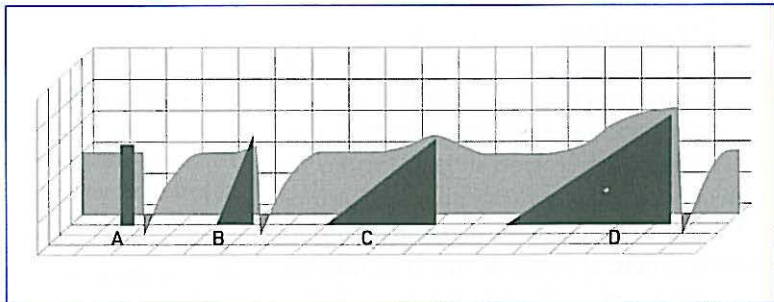
Se supone que el umbral de polarización de una fibra muscular es de -80 mV, es decir, la diferencia de potencial del interior con el exterior, separado por la membrana, es de -80 mV. Por consiguiente, tendrá que aplicarse un impulso que sea capaz de superar dicho umbral.

Sin embargo, en estado de normalidad, la fibra muscular y la nerviosa poseen la siguiente propiedad: «manifiesta cierta pereza

para responder al estímulo eléctrico de subida progresiva», expresado entre comillas. La fibra, al tratar de aumentar su nivel de polarización, ofrece esta resistencia o ley del mínimo esfuerzo, *para lo cual necesita un tiempo* (Figs. 10-18, 10-20 y 10-22):

- Si el impulso aplicado es de subida lo bastante rápida, la fibra será sorprendida por el estímulo y, tras romper su umbral, responderá con una contracción, aunque el pulso no sea largo (Fig. 10-22 A).
- Cuando el pulso es triangular, y con una progresión muy rápida, la membrana intenta acomodarse, pero no lo consigue (Fig. 10-22 B).
- Si el impulso aplicado es de subida *lenta o progresiva*, la fibra detectará ese intento y elevará su umbral hasta donde sea posible; si la entrada del impulso es lo bastante lenta (más lenta que la rapidez de la fibra en acomodarse), la fibra conseguirá colocar su umbral por encima del estímulo sin llegar a producir contracción: *ha conseguido acomodarse* (Fig. 10-22 C).
- Ahora, cuando los pulsos son muy largos y de subida progresiva (a la derecha del ángulo de deflexión), la membrana consigue acomodarse a la entrada del pulso, se ha elevado mucho la intensidad y (progresivamente) se creó una situación de desequilibrio eléctrico, de manera que, al retirar el pulso de forma brusca, aparece una respuesta motora (repuesta anódica; Fig. 10-22 D).

Figura 10-22. A) Se despolariza con facilidad. B) Intenta despolarizarse, pero no lo consigue. C) Se acomoda de forma plena. D) Se acomoda a la subida, pero la bajada brusca del pulso provoca la despolarización, aunque se elevó mucho la intensidad.





Práctica experimental

Se tomarán dos electrodos pequeños e iguales, se fijarán en aplicación bipolar sobre el músculo vasto interno del cuádriceps (u otro músculo) de un paciente o modelo *sin proceso patológico*. Quizá, el mejor sería el [-] en sentido distal.

1. Se ajustará el estimulador de baja frecuencia en pulsos aislados, con reposo de 2 a 3 s, de forma cuadrada y con un tiempo de unos 10 ms. Si el equipo dispone de la opción sonido, se activa para escuchar la corriente. Se elevará la intensidad hasta obtener una respuesta motora palpable. Se notará que la contracción se produce al mismo tiempo que el inicio del sonido o con la entrada del pulso.
2. A continuación se cambiará a pulsos triangulares (subida progresiva y bajada brusca) de unos 10 ms. Se elevará la intensidad hasta la respuesta motora. Se notará la respuesta semejante a la anterior, pero con mayor intensidad aplicada. Si se presta atención a la contracción, ésta coincidirá con la entrada del pulso.
3. Se ajustarán de nuevo los pulsos triangulares (subida progresiva y bajada brusca) a unos 500 ms. Se elevará la intensidad hasta la respuesta motora. Se necesitará bastante más intensidad que en los casos anteriores. El modelo o paciente manifestará quemazón. *Se notará cómo la respuesta de contracción se produce al retirarse los pulsos.*

Esta última observación es el objeto de la prueba y demuestra el efecto de acomodación frente a los pulsos triangulares largos.

Debe recordarse el fenómeno producido cuando se aplica galvanismo relacionado con la excitomotricidad. El galvanismo no es excitomotor a no ser que se aplique de manera brusca, instante en el cual aparece una reacción de contracción muscular. También, si se interrumpe la aplicación de galvanismo de manera brusca, se producirá una contracción.

Esta contracción de retirada, *apertura del circuito*, se debe al hecho de que la membrana acomodó su nivel de polarización a la co-

rriente galvánica. Al retirarla de forma brusca, en el líquido extracelular cambian los niveles eléctricos, también con rapidez, con una diferencia de potencial tan alta que rompe el aislamiento de la membrana, la despolariza y causa su consiguiente contracción. Esta circunstancia confiere el nombre al UGT.

En el umbral gálvano tétano se produce una respuesta motora después de haber aplicado una corriente galvánica y retirarla de forma brusca.

En resumen, con impulsos cuadrangulares y triangulares, se está frente a dos tipos de respuestas excitomotoras:

- Una, cuando se aplica el impulso (al cierre del circuito o *catódica*).
- La otra, cuando cesa el impulso (a la apertura del circuito o *anódica*).

Cierre se refiere al cerrado del circuito para que circule el impulso (Fig. 10-23 A). *Apertura* es el momento de apertura o corte del

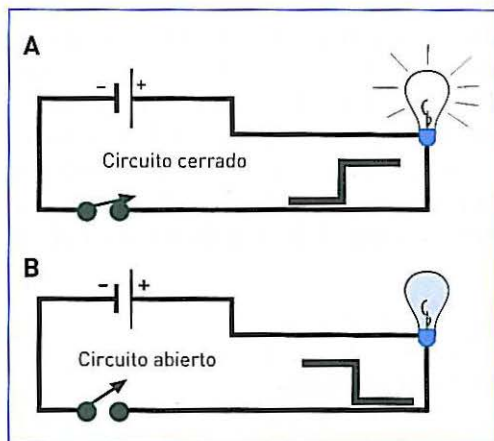


Figura 10-23. A) Al cerrar el circuito, se inicia el paso de corriente y representa la subida del pulso. B) Al abrir el circuito, se interrumpe el paso de corriente y equivale a la retirada del pulso. Si el cierre y la apertura son bruscos, se forman pulsos cuadrados.

circuito para interrumpir el paso del impulso (Fig. 10-23 B).

Con la curva de respuesta a impulsos progresivos o de acomodación se explorará este fenómeno. Del ángulo de deflexión hacia la derecha queda reflejada la respuesta anódica mientras que a la izquierda del ángulo de deflexión se presenta la acomodación a la respuesta catódica (Fig. 10-20).

Observaciones sobre el ángulo de deflexión

En el ángulo de deflexión se produce un doble fenómeno: cuando entra el pulso, se despolariza la membrana de la fibra y, al salir, se vuelve a despolarizar. Si se despolariza de forma seguida, indica que se superponen dos respuestas de contracción y las intensidades serán las más bajas de toda la curva. Además, para que se produzca la segunda respuesta, ha tenido que repolarizarse de la primera.

Esta última circunstancia está informando de los tiempos que necesitan en repolarizarse las diferentes fibras musculares y el nervio motor (indica el período refractario completo), es decir, revela los tiempos de reposo o de separación entre pulsos dentro del tren de corrientes farádicas.

El ángulo de deflexión indica si el paciente posee un alto porcentaje de fibras lentas o rápidas, o medias, o si predomina el nervio sobre el músculo, así como si un grupo de fibras sufren un proceso patológico respecto al resto.

El ángulo de deflexión suele ser un valle o zona plana más baja con la misma intensidad (entre 10 y 30 ms; Fig. 10-24), pero pueden encontrarse varias formas del ángulo de deflexión.

En la figura 10-25, el ángulo de deflexión se ha desplazado hacia la izquierda y puede alcanzar 7 e, incluso, 5 ms. Es bastante frecuente en jóvenes deportistas con abundante fibra rápida entrenada. Si oscilara entre 5 y 10 ms, indicaría una importante pérdida de fibra lenta que generará problemas en el deportista.

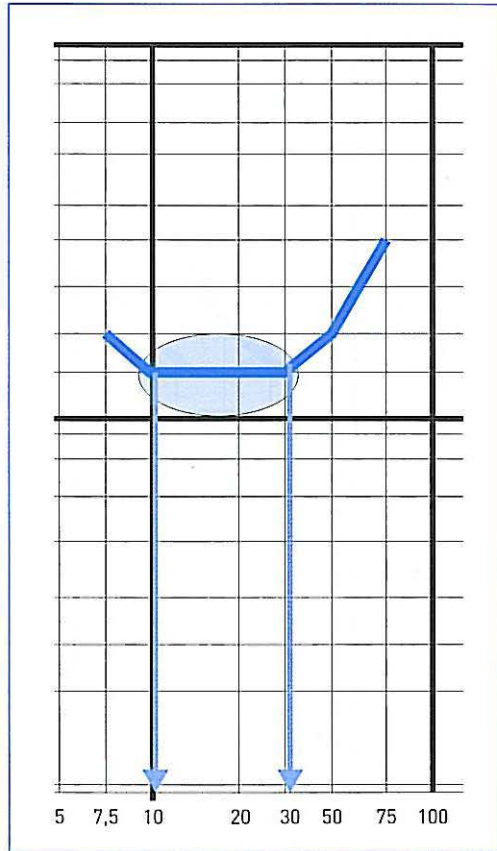


Figura 10-24. En una persona normal y de mediana edad es frecuente hallar un trazado como éste, entre 10 y 30 ms.

En la figura 10-26 se observa que el ángulo de deflexión se desplaza (en bloque y sin alteraciones) hacia la derecha (entre 20 y 50 ms), lo que indica un predominio de fibra muy lenta y atrofia de la rápida. Es frecuente en personas de mediana edad y sedentarias. En estos casos, la cuadrangular también reflejará alteraciones que requieren tratamiento con electroestimulación.

En la figura 10-27 se dibuja un pico que indica un único tiempo para el ángulo de deflexión. Refleja que la mayoría de fibras del conjunto neuromuscular se repolarizan al mismo tiempo. Es bastante frecuente encontrar esta variante. También es frecuente

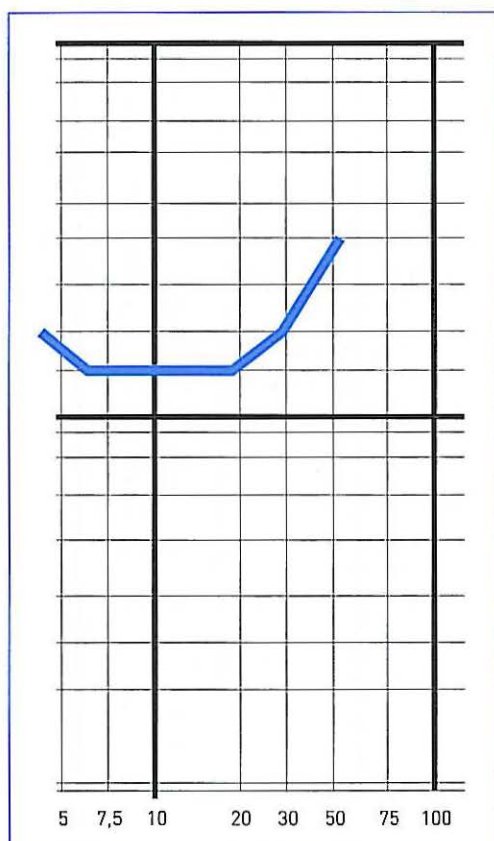


Figura 10-25. El desplazamiento hacia los tiempos cortos indica el predominio de fibra rápida. Es típico de deportistas.

dibujar un estrecho valle en lugar de un pico.

La forma de la [figura 10-28](#) indica que se está enlenteciendo y atrofiando un importante porcentaje de fibras musculares que han iniciado su desplazamiento hacia tiempos largos y mayores intensidades (típico de los procesos con cierta patología). Requieren entrenamiento y tratamiento. Las contracturas mantenidas en el tiempo, miofascitis y procesos articulares degenerativos suelen presentar esta variante.

La [figura 10-29](#) muestra doble ángulo de deflexión entre 10 y 30 ms con un ascenso en 20 ms. La parte izquierda presenta normalidad, el pico de la derecha también indica

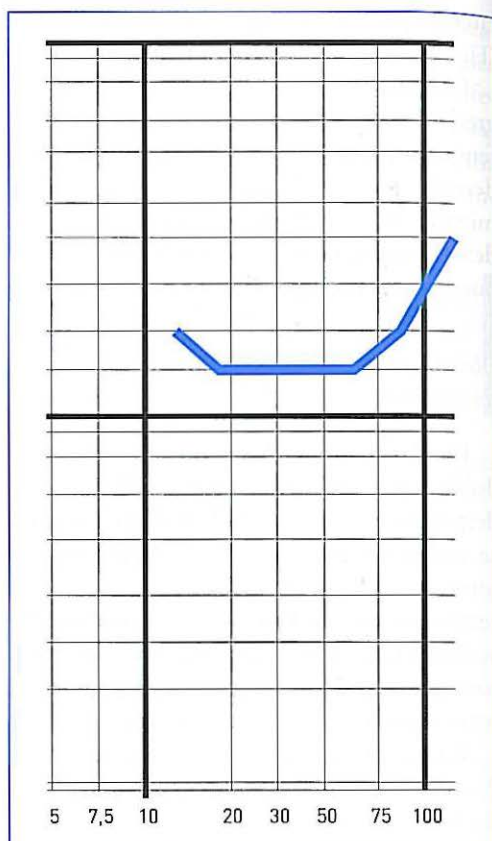


Figura 10-26. El desplazamiento hacia los tiempos largos indica el predominio de fibra excesivamente lenta y atrofada. Requiere entrenamiento y tratamiento.

baja intensidad y valores de tiempo normales. El ascenso señala ausencia de fibras medias de 20 ms que se deben tratar y trabajar hasta igualar todos los valores y conseguir un valle.

En la [figura 10-30](#) se rompe el ángulo de deflexión en dos partes; entre 10 y 20 ms se requiere más intensidad que en 30 ms. Ello indica que el paciente sufre atrofia o debilidad de la fibra muscular rápida y el nervio motor. Este análisis requiere concordancia con la curva cuadrangular. En 30 ms aparecen de forma muy clara las fibras lentas. El paciente requiere tratamiento de los tiempos cortos entre 10 y 20 ms.

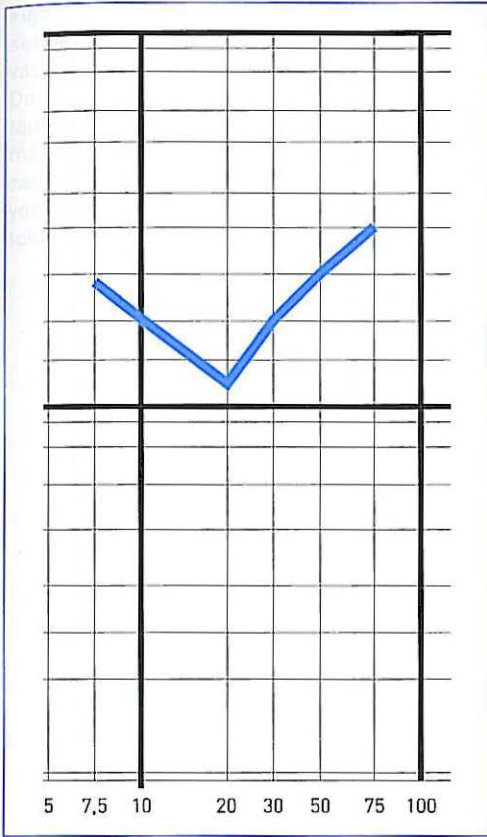


Figura 10-27. En 20 ms se obtendría el tiempo de reposo para la corriente farádica. Es bastante frecuente hallar esta forma.

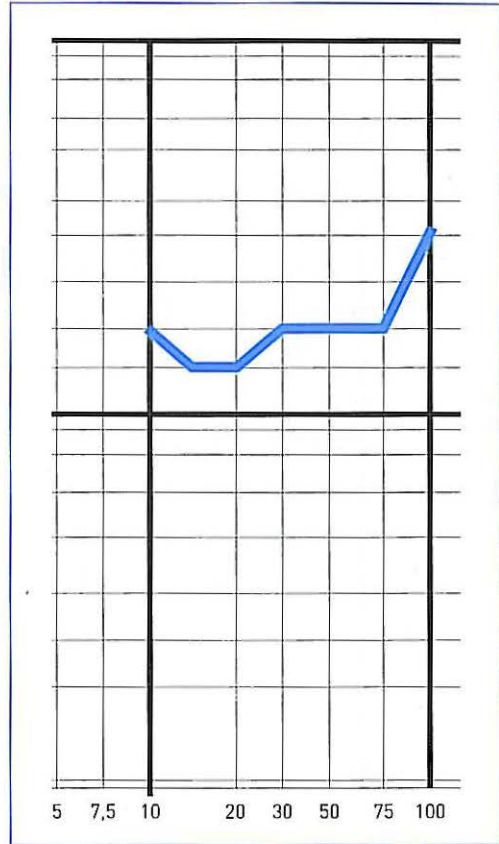


Figura 10-28. Entre 30 y 75 ms se dibuja un ángulo de deflexión perteneciente a fibras con cierto nivel de patología o atrofia.

Enlentecimiento de los tiempos de respuesta fisiológica

En procesos patológicos, como las parálisis periféricas, las curvas se desplazan hacia arriba y hacia la derecha de la gráfica. Por ello aumentan los tiempos de pulso, las intensidades y los reposos para conseguir la misma respuesta motora (Fig. 10-31).

La celeridad de la membrana celular de fibras musculares y nerviosas para despolarizarse, repolarizarse y acomodarse depende del buen estado metabólico. En caso de hallarse sometidas a un proceso patológico (sobre todo, denervación), ocurrirán cambios electrofisiológicos que se compararán entre el es-

tado de normalidad y el de denervación grave en la [tabla 10-1](#).

El resumen de la [tabla 10-1](#) y los siguientes párrafos desvelan la pista y conducen a pensar por qué en las denervaciones se está obligado a estimular con impulsos aislados entre sí varios segundos y, además, una subida progresiva.

Los fisioterapeutas están obligados a entender bien la electrofisiología y la electrofisiopatología, ya que la electroterapia será el tratamiento de base en las parálisis periféricas.

Para conseguir buena respuesta motora en las parálisis periféricas, los impulsos «ideales»

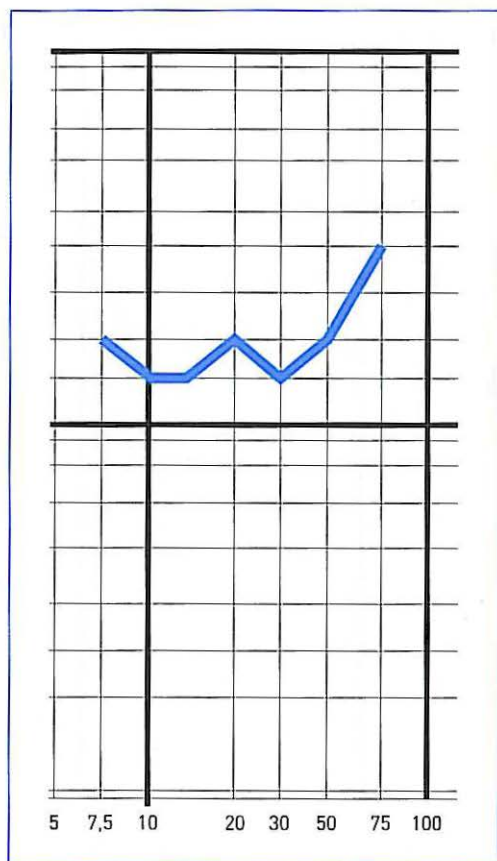


Figura 10-29. De 10 a 30 ms hay doble ángulo de deflexión con un pico de ascenso en 20 ms. Aparece buena presencia de fibra rápida y lenta, y atrofia de fibra media.

continúan siendo los de subida rápida, con elevada intensidad. Sin embargo, si en las proximidades de la zona tratada se localizan músculos no paráliticos responderán antes que los enfermos, aunque el punto motor corresponda al denervado.

Dado que los músculos sanos conservan buena capacidad de respuesta de acomodación, si se les aplican impulsos de subida progresiva los sanos se acomodarán, mientras que el afectado por denervación responderá por haber perdido dicha capacidad.

Estas diferencias de comportamiento también se reflejan en las curvas de acomodación

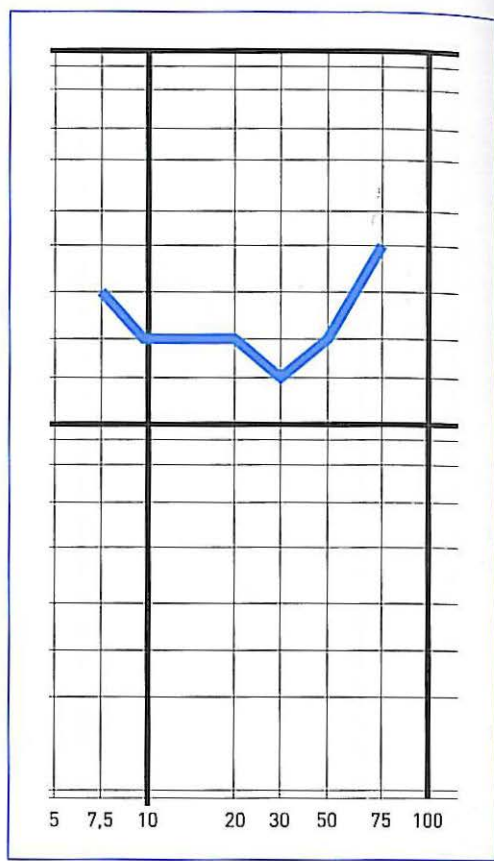


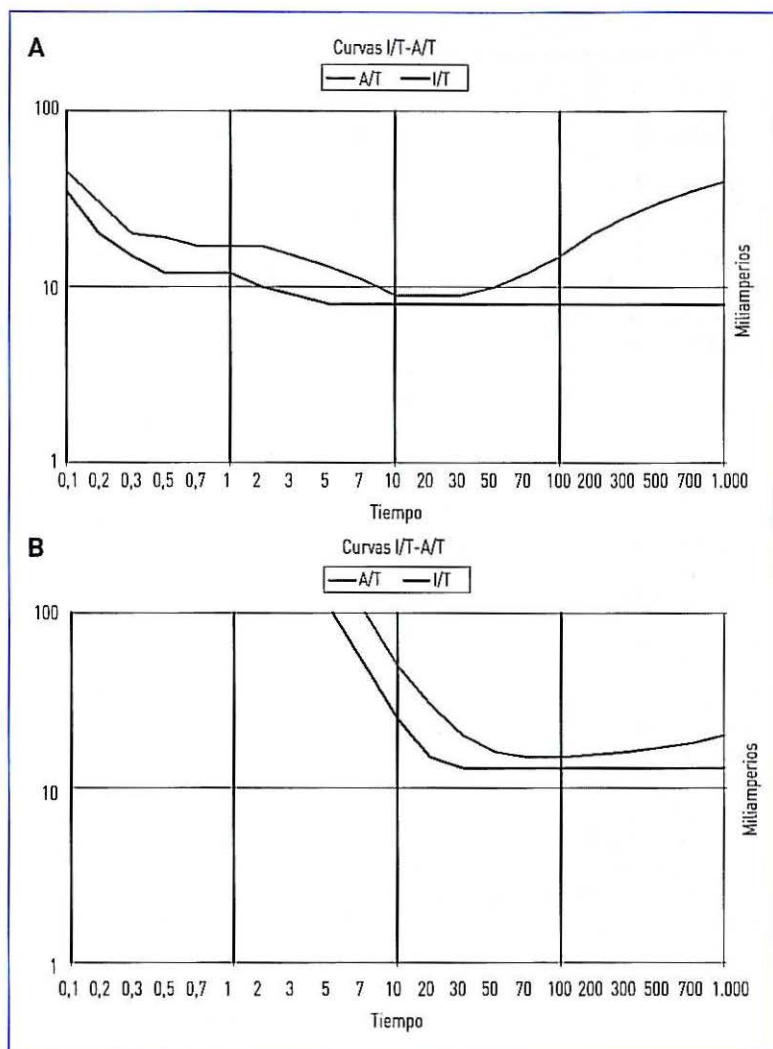
Figura 10-30. Tendencia al doble ángulo de deflexión, pero elevado en los tiempos cortos. Abundancia de fibra lenta con atrofia de la fibra rápida y el nervio.

de los sanos y de los afectados cuando ambas se superponen y forman una figura característica denominada triángulo de utilidad terapéutica (TUT).

Triángulo de utilidad terapéutica

Si se superponen sobre la misma gráfica sendas curvas de acomodación, una perteneciente al músculo sano y otra al denervado (ambas pruebas se realizan sin cambiar los electrodos de lugar; Fig. 10-32), se obtendrán dos curvas que, si comienzan en la vertical de 1.000 ms (la del sano por encima de la del enfermo), tienden a cruzarse dejando entre

Figura 10-31. A) Representación de las curvas de normalidad. B) Dos curvas de importante patología. Cuanto más elevadas y desplazadas a la derecha, mayor será el proceso patológico.



ellas un ángulo que, junto con la vertical de 1.000 ms, van a componer un *triángulo de respuesta selectiva* para el enfermo. De esta manera, cualquier punto de coordenadas dentro del triángulo conseguirá que el músculo enfermo se contraiga con un impulso de subida progresiva, mientras que el sano con el mismo impulso no respondería, dado que no se ha superado su umbral de respuesta a la contracción.

A modo de conclusión, aun pecando de reiteración, la obtención de este parámetro se realiza con motivo de tratamientos, en los cua-

les las respuestas de contracción detectadas corresponden a los músculos próximos que están menos afectados, mientras que los enfermos no responden según los deseos del fisioterapeuta. Por ello debe disociarse la capacidad de acomodación de ambos para aplicar impulsos que no exciten el músculo sano, pero sí el enfermo.

Ello conduce a la polémica existente sobre la utilidad y provecho de los tratamientos con electroestimulación *selectiva sobre conjuntos neuromusculares denervados* que más adelante se plantea.

Tabla 10-1. Respuestas típicas del conjunto neuromuscular ante la estimulación eléctrica

Fibra normal	Fibra denervada
Responde a impulsos cortos y de baja intensidad	Requiere impulsos largos y de elevada intensidad
Necesita poco tiempo para repolarizarse (de 10 a 30 ms)	La membrana necesita mucho tiempo para repolarizarse (se retrasa hasta 2, 3 o 4 s)
Se acomoda con facilidad	Pierde la capacidad de acomodarse
Responde mejor a la forma cuadrangular que a la triangular	Responde prácticamente igual a pulsos cuadrangulares que a triangulares
Pueden conseguirse contracciones mantenidas durante unos segundos con trenes o ráfagas (faradización)	Se está obligado a trabajar la musculatura con pulsos aislados dado que no permiten la contracción mantenida de la fibra

Forma de hallar el triángulo de utilidad terapéutica sin trazar las curvas de acomodación

En unos segundos, el fisioterapeuta se puede introducir en el TUT si se varía el tiempo de los impulsos y su intensidad hasta encontrar la respuesta selectiva del músculo denervado y si se evita la de los sanos (Fig. 10-33). No es necesario trazar las curvas que lo forman:

- Se sabe que el TUT se localiza arriba y a la derecha de la gráfica.
- Si en los primeros intentos la respuesta es de los músculos sanos, se realizará el desplazamiento con los valores de tiempo e intensidad hacia arriba y hacia la derecha.
- Se fijarán los electrodos (o el electrodo activo) sobre la mejor localización para la respuesta de los afectados.
- Se comenzará la prueba con pulsos aislados triangulares (de subida progresiva y bajada brusca) de unos 20 ms, se elevará la intensidad y se observará la respuesta.
- Si se está frente a una parálisis importante, se observará que responden los músculos sanos y tendrán que modificarse algunos parámetros. La respuesta de éstos se debió

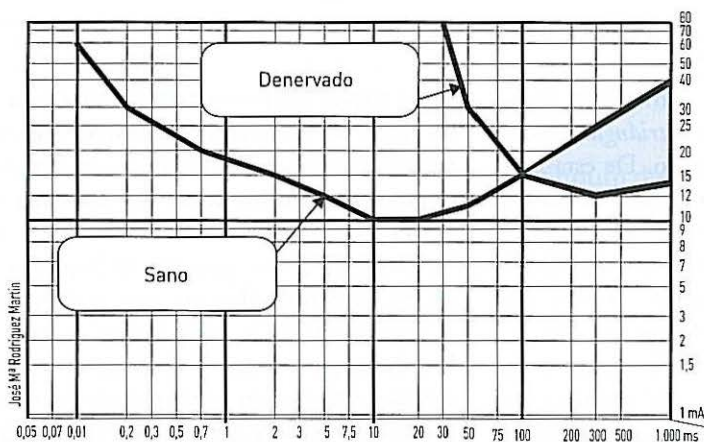
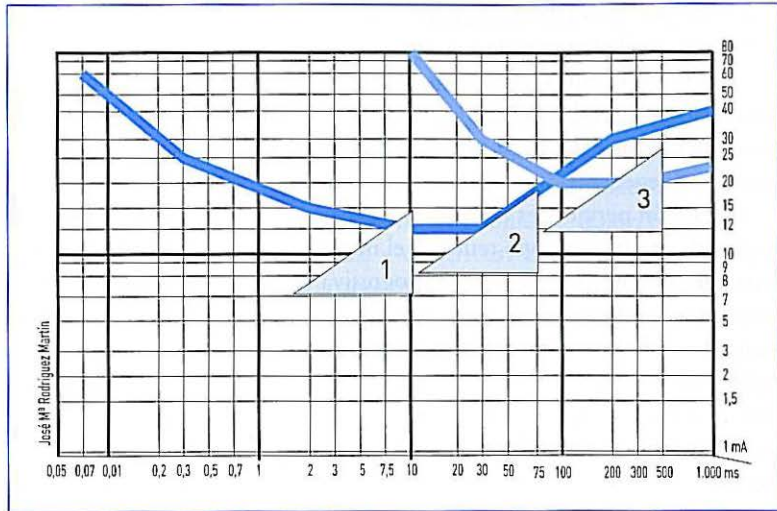


Figura 10-32. El triángulo de utilidad terapéutica se localiza en los cuadrantes superiores y a la derecha.

Figura 10-33. Los pulsos 1, 2 y 3 indican la progresión lógica de tanteo exploratorio hasta encontrarse dentro del triángulo de utilidad terapéutica.



- al hecho de que se superó primero la curva de los músculos sanos con tiempos cortos.
- Se aumentará el tiempo de pulso, a unos 50 ms, y se ajustará la intensidad hasta una nueva respuesta, que puede continuar siendo la de los sanos.
- Se aumentará de nuevo el tiempo de pulso, por ejemplo, a 100 ms y su nueva intensidad. Es posible que aparezca una doble respuesta con la misma fuerza, de los sanos y de los paralíticos. Esto indicará que se está en la zona de cruce de las dos curvas (triangular del sano con triangular del afectado). Esta respuesta todavía no es satisfactoria.
- Se aumentará el tiempo de pulso de nuevo, por ejemplo, a 200 ms, y se retocará la intensidad en lo necesario (tal vez se aumentará o se disminuirá) y si se ha superado la zona de cruce, se observará con satisfacción que responden los paralíticos y no se contraen los sanos. Si se eleva más la intensidad, volverán a responder los sanos, pero menos que los afectados por el proceso patológico.

Cuanto más a la derecha se realice el desplazamiento, mejor será la respuesta pretendida, pero a la vez más se quemará la piel del paciente. La opción más adecuada será aquella en que los parámetros se localicen dentro del TUT, pero no muy cerca del cruce para que no se mezclen las contracciones sanas y las enfermas, ni tampoco muy a la derecha para evitar quemaduras al paciente.

Estas maniobras se deben practicar en cada sesión o con cierta asiduidad, con el doble objetivo de observar la posible evolución y la necesidad de cambios en los parámetros.

Hay que tender, siempre que lo permita la evolución, a impulsos lo más cortos y lo más juntos posible hasta que se invada la vertical de 10 ms, donde de forma rápida se intentará diseñar trenes de corrientes farádicas que mantengan el músculo contraído durante varios segundos en lugar de producir una contracción aislada cada 2 o 3 s.

Parálisis periférica. Estimulación selectiva de músculos denervados

Se considera que, desde el momento en que un nervio abandona el control motor de un



Vídeo 10-2. Triángulo de utilidad terapéutica

músculo (por lesión del ramo periférico, no de la primera ni de la segunda neurona motora), éste inicia un camino hacia la atrofia y la degeneración progresiva del tejido. Se pierden las funciones del nervio, de la placa motora y del músculo (degeneración walleriana).

Si la lesión nerviosa es temporal, se esperará a que (en su día) el nervio reinerve el músculo para que éste reinicie de forma progresiva su retorno a la normalidad. Sin embargo, si el músculo, al llegar el nervio, ha degenerado en tejido conectivo y las placas motoras tampoco han podido retomar su función, no servirá para nada que se restablezca la conducción nerviosa.

Con el fin de evitar esta posibilidad, debe mantenerse al músculo, al nervio y a la placa motora con su capacidad de función específica mediante estimulación eléctrica transcutánea.

Para que esta estimulación sea realmente efectiva, se necesita conseguir un trabajo efectivo y selectivo del conjunto neuromuscular afectado, filtrando o evitando la respuesta de los músculos sanos próximos si se busca el TUT.

Parece que se está considerando un tratamiento exclusivo la estimulación con pulsos triangulares como única forma de pulso. En realidad, las fibras denervadas siempre responderán mejor a pulsos cuadrangulares (y siempre que sea posible se llevará a cabo con pulsos cuadrangulares), pero en la práctica (por proximidad de los músculos sanos) se estará obligado a usar forma triangular. En las denervaciones que afectan a toda una zona, suelen ir mejor pulsos cuadrados. En estas circunstancias, ya no se considera el TUT.

No sólo es necesario, como con anterioridad se ha recomendado, contraer al músculo para que mantenga su capacidad metabólica específica y contráctil, sino que la placa motora debe estimularse para que conserve sus funciones electroquímicas de sinapsis entre fibra nerviosa y fibra muscular, y así evitar que se alteren lo mínimo posible las reacciones electroquímicas y neurotransmisoras.

Las polémicas acerca de los resultados terapéuticos y las variantes de la técnica usada, en general, están determinadas por ignorancia o fallos a la hora de aplicarlas. Sin embargo, quien domina la técnica y controla el porqué, o trabaja con la debida precisión obtendrá resultados muy buenos en las recuperaciones de parálisis parciales y totales reversibles. ¿Cuántos fisioterapeutas conocen qué es y en qué consiste el TUT? ¿Cuántos saben encontrarlo sobre la marcha sin la necesidad de trazar las curvas?

Si se aplican tratamientos precisos, los pronósticos serán bastante buenos, aunque depende en gran parte del tipo, nivel y grado de la lesión, de forma que:

- Cuando el fisioterapeuta se enfrente a una *neurotmesis* (Fig. 10-34 A), a no ser que exista reparación quirúrgica o los extremos de la sección se encuentren próximos, las posibilidades de recuperación serán muy bajas o nulas.
- Si la lesión es una *axonotmesis* (Fig. 10-34 B), por lo general a causa del aplastamiento o la elongación del nervio, se destruye el axón, pero se mantiene el tronco y el perineuro

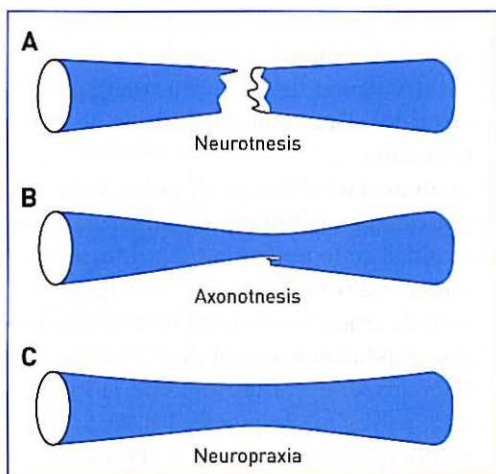


Figura 10-34. A) Neurotmesis. La lesión tiene mal pronóstico. B) Axonotmesis. La lesión tiene pronóstico bueno, pero puede dejar alguna secuela parcial. C) Neuropraxia. El pronóstico es bueno.

del axón, por lo que la recuperación es bastante buena y, según se cree, avanza a una velocidad de 1 mm por día.

- En caso de *neuropraxia* (Fig. 10-34 C) o lesión parcial del nervio se interrumpe el flujo eléctrico, pero no existe lesión anatómica y la recuperación suele resultar total entre 6 y 12 semanas.

La estimulación eléctrica sensitiva y motora debe comenzar de forma inmediata, *aunque el pronóstico sea incierto*, y deben establecerse pautas de tratamiento adecuadas basadas en:

- La evolución de las curvas I/T-A/T.
- La localización y la evolución del TUT.
- La técnica adecuada y la colocación de electrodos (que alternará entre varias posibles).
- La implicación del nervio o no.
- La mejora del trofismo mediante galvanismo en la zona de la lesión.
- Seguir día a día las evoluciones y el progreso de la lesión (y tomar nota en las *fichas de tratamiento* y las *fichas de seguimiento*).
- Modificar los impulsos en tiempo, forma y separación según los requerimientos diarios, etcétera.

En un conjunto neuro-músculo afectado no pueden olvidarse las alteraciones sensitivas y tróficas a causa del sistema nervioso autónomo. En ocasiones, no es fácil conseguir buenas respuestas específicas de los músculos afectados. Para ello deben dominarse bien:

- La preparación de la zona.
- Si el paciente lleva osteosíntesis metálicas.
- La colocación de electrodos.
- Los tamaños y la polaridad de los electrodos.
- Evitar quemaduras.
- Los cambios de polaridad.
- Alternar la aplicación bipolar con la monopolar.
- Implicar al trayecto nervioso o no implicarlo.

- La técnica indicada.
- El número de sesiones y el tiempo de la sesión, entre otras.

Respecto a *la zona que debe tratarse*, se observará con atención por sus alteraciones tróficas, edema, sensibilidad, dolor, inflamación, heridas y cicatrices. Un antiguo método de preparación trófica de la zona consistía en un baño galvánico previo a la estimulación eléctrica (Fig. 10-35). Este baño galvánico, con el [-] sobre la zona denervada durante 10 minutos mejora el nivel de respuesta motora.

Se tendrá en cuenta *si el paciente lleva osteosíntesis metálicas* o endoprótesis, ya que los pulsos triangulares largos y de altas intensidades generan un fuerte efecto electrolítico sobre los metales y pueden provocar liberación de iones metálicos tóxicos que estimulan la respuesta de rechazo en la zona.

Puesto que se considera fundamental el tratamiento, es preciso valorar si compensa la aplicación del tratamiento de estimulación eléctrica con metales; en general, hay que intentarlo.

Es bastante frecuente el tratamiento de parálisis provocadas por accidentes de caza y la consiguiente existencia de perdigones de plomo dispersados por la zona. Esta circunstancia debe valorarse de forma muy seria a



Figura 10-35. Baño galvánico con agua del grifo. La zona denervada se sumerge con el [-] en el agua y el [+] muy amplio sobre la zona dorsal alta.

causa de la toxicidad del plomo. Según la experiencia de este autor, basada en dos casos, tuvo que retirarse la estimulación por la fuerte respuesta inflamatoria en la zona tratada.

Dado el fuerte riesgo de quemadura bajo los electrodos, por un lado, y lo prolongado del tratamiento, por el otro, se está obligado a considerar la alternancia en la *colocación de electrodos* a diario, a la vez que se usarán electrodos grandes para reducir la densidad de energía por cm^2 (mA/cm^2).

Respecto a *los tamaños y la polaridad de los electrodos*, según la zona de lesión, un electrodo puede situarse sobre la zona denervada y el otro sobre el origen del ramo nervioso proximal a la

lesión. También pueden estar los dos electrodos en la zona distal al foco de lesión. Unas veces se aplicarán en sentido longitudinal y otras en sentido contralateral. Aunque los electrodos no se hallen situados de forma correcta, no importa si se evitan quemaduras, pues los parámetros de la corriente son selectivos para el conjunto neuromuscular afectado y se pueden alterar las pautas habituales de colocación de electrodos.

En unas aplicaciones se fijarán los electrodos de forma que se implique al nervio, en otras se implicará más al músculo o a la placa motora.

Si se toma como ejemplo una denervación del músculo ciático poplíteo externo, en la *figura 10-36* pueden observarse algunas suge-

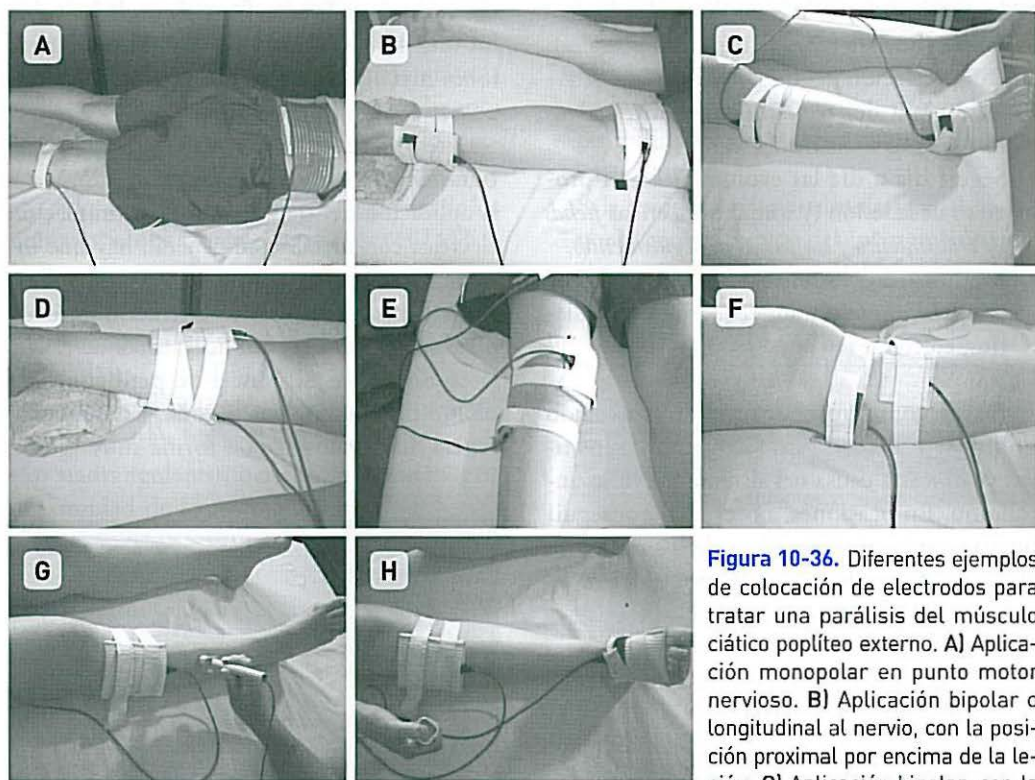


Figura 10-36. Diferentes ejemplos de colocación de electrodos para tratar una parálisis del músculo ciático poplíteo externo. A) Aplicación monopolar en punto motor nervioso. B) Aplicación bipolar o longitudinal al nervio, con la posición proximal por encima de la lesión. C) Aplicación bipolar, con la posición caudal sobre la zona de lesión, muy frecuente. D) Aplicación contralateral, aplicación que es factible y posible en denervaciones. E) Aplicación monopolar con posición proximal sobre la cara interna de la rodilla y activo sobre la zona de lesión. F) Doble monopolar: uno sobre el punto nervioso del ciático poplíteo externo y el otro sobre el punto muscular del tibial anterior. Es muy frecuente en estimulación eléctrica funcional en hemiplejías. G) Aplicación puntual manual: el terapeuta desplaza el puntual por los puntos motores que debe tratar. H) Aplicación intencionada y controlada por el propio paciente para evitar la fatiga en la respuesta.

rencias de localización de electrodos para su tratamiento.

Aunque los pulsos son aislados y puede parecer que la carga galvánica es poca, en realidad es importante por su alta intensidad y por la duración tan prolongada de los pulsos. Se sabe por experiencia que los pacientes tratados así sufren de alteraciones en la piel y a cierta profundidad bajo los electrodos.

Estas técnicas están sometidas a polémica porque, si se aplican de forma incorrecta [sesiones muy largas sin mover los electrodos], se genera alteración electroquímica de los tejidos afectados y degeneran en procesos fibróticos que agravan más el pronóstico.

Es necesario que la zona tratada del paciente descanse cada varios minutos (de 4 a 5 minutos) para *evitar quemaduras* y para evitar el agotamiento en las respuestas motoras y electroquímicas.

Es muy importante aplicar *cambios de polaridad* para contribuir a evitar quemaduras al paciente, ya que, si se mantiene de forma continua la misma polaridad, el fuerte efecto galvánico produce alteración de la piel y tejidos más profundos. Siempre hay una polaridad que consigue mejor respuesta (suele ser [-] en sentido distal) que si se invierte, pero siempre la misma polaridad genera quemadura galvánica. Un factor más para evitarla consiste en ajustar el equipo con la modalidad de *bifásica desfasada*. La bifásica consecutiva no procede (Fig. 10-37). En caso de disponer de

un equipo con la posibilidad de generar modulaciones triangulares de media frecuencia (ajustables, como los pulsos), se intentará con dichas modulaciones para evitar quemaduras.

El cambio de polaridad debido a la bifásica desfasada tiene la ventaja de que cambia la respuesta de manera alternativa (con una polaridad, más contracción distal y con la otra polaridad, mejor contracción proximal), con lo que se disminuye la fatiga a la respuesta motora del músculo y de la sinapsis neuromuscular.

Alternar aplicaciones bipolares con monopares contribuye a evitar la saturación de la misma zona de aplicación y a simultanear objetivos diferentes de tratamiento, como nervio, músculo y placa motora.

Las aplicaciones monopares *implican al nervio* y a la placa motora de forma más concreta que las bipolares, ya que el electrodo activo se fija sobre la placa motora y el proximal sobre la zona sana, previa a la lesión. Las aplicaciones monopares con pulsos bifásicos desfasados generan ondas de conducción nerviosa eferentes cuando el [-] es proximal, las cuales estimulan el metabolismo sobre la zona de la lesión nerviosa y facilitan su regeneración. Las bipolares (e, incluso, contralaterales) consiguen la respuesta más selectiva de los músculos denervados.

La *técnica más correcta y adecuada* para tratar una parálisis por desgracia no es muy rentable para aquella medicina cuyo objetivo primero es el económico. Consiste en aplicar a mano, con un electrodo puntual en una mano y el manejo del equipo en la otra, pulsos adaptados a cada punto motor, a cada placa motora de cada músculo durante unos minutos (Figs. 10-36 G y 10-38). Cuando se observe que decae la respuesta, se saltará a otro punto, después al siguiente y así de forma sucesiva hasta recorrer todos los músculos afectados para comenzar de nuevo la ronda. Esto implica atención personalizada del paciente durante largo tiempo y no podrán atenderse otras cuestiones de manera simultánea.

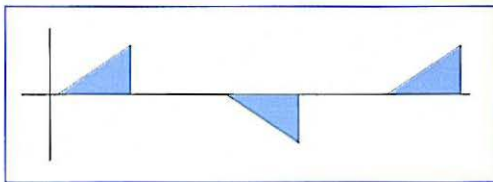


Figura 10-37. Conviene aplicar pulsos bifásicos desfasados para evitar la agresión eléctrica sobre la piel, aunque en un sentido se conseguirá mejor respuesta que en otro.

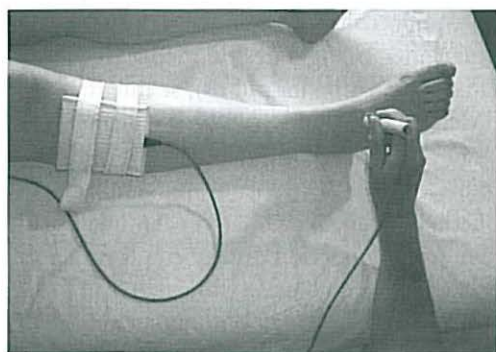


Figura 10-38. Aplicación del electrodo puntual y manual.

Para evitar esta circunstancia o atadura al paciente a causa de una sesión prolongada, puede implicarse al paciente y solicitarle su colaboración en la modificación de la fijación de electrodos durante la sesión varias veces según se le indique. También ayudará la aplicación intencionada con el pulsador (Figs. 10-36 H y 10-39) para que el paciente detenga de momento el tratamiento a fin de que su conjunto neuromuscular tratado se recupere de la fatiga y decaimiento en la respuesta motora. Además, para evitar agresión electroquímica en los tejidos, deben ajustarse los pulsos bifásicos desfasados. Asimismo, unos días se decidirá una modalidad de fijación

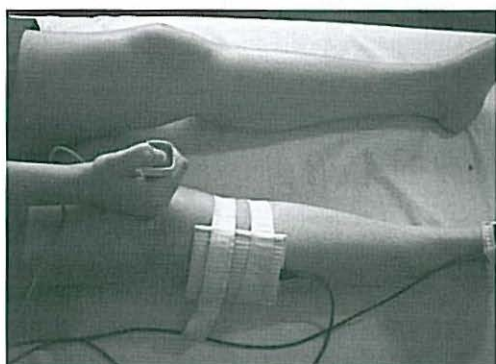


Figura 10-39. Pulsador de aplicación intencionada. Cuando el paciente presiona, se aplica la corriente; cuando el paciente deja de presionar, el estimulador entra en reposo hasta que se pulsa de nuevo.

ción con los electrodos y otros días una colocación diferente.



Vídeo 10-3. Aplicación intencionada

También para evitar quemaduras, existe (*la muy importante posibilidad*) de aplicar pulsos o modulaciones de media frecuencia, los cuales no poseen efecto galvánico y no queman al paciente (Fig. 10-40). Como puede apreciarse en la figura, hay fabricantes que diseñan equipos para tratamientos de parálisis en zonas sensibles al dolor o delicadas por el riesgo de quemadura (cara, cuerdas vocales, casos de incontinencia urinaria o fecal) o, incluso, aplicable en cualquier otra parálisis en que se reduzca el riesgo de agresión, de molestia, de quemadura y alcance mayor penetración.

Es importante que se trate de sustituir al sistema nervioso en su inervación, que pasa de tener control durante veinticuatro horas a no tener ninguna. Por ello, *el tiempo de la sesión* debe ser prolongado (dependerá de *la extensión de la sesión*) y debe aplicarse varias veces al día.

La opción de que el paciente se autoaplique una o dos sesiones al día con el debido control y entrenamiento puede ser una alternativa interesante.

El tratamiento es largo y prolongado en el tiempo. Por esta razón importa mucho cui-

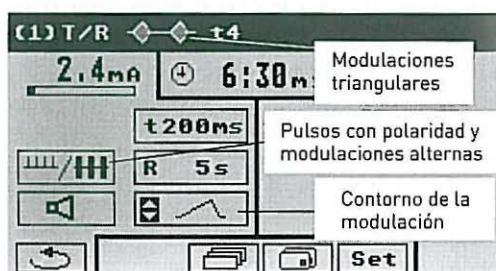


Figura 10-40. Pantalla del vocaSTIM (equipo diseñado para el tratamiento de parálisis de cuerdas vocales), donde se aprecian los ajustes para modulaciones triangulares de 200 ms y reposos de 5 s. Es posible ajustar la opción clásica de pulsos con polaridad y la de modulaciones sin polaridad.

dar la agresión a los tejidos. Se mantendrá el tratamiento hasta que se inicien las respuestas motoras voluntarias. Tan pronto como las respuestas voluntarias se hagan presentes, se iniciará la técnica de *biofeedback* y se mantendrá la electroestimulación.

Los parámetros de las corrientes van modificándose coordinadas con la mejoría (representada en las curvas I/T-A/T y en el TUT) y disminuyen la intensidad, la anchura de los pulsos y los reposos.

Llegará el momento en que los músculos sean capaces de contraerse de forma mantenida durante segundos, momento en que se aplican trenes de corrientes farádicas.

En resumen, queda claro que los tratamientos del conjunto neuromuscular normal o poco afectado por un proceso patológico se tratan con trenes o ráfagas de pulsos, pulsos cuadrangulares, cortos y reposos cortos dentro del tren.

Cuando el conjunto neuromuscular está denervado de forma grave, se trata con pulsos aislados que no pueden ir en trenes (si se desea pueden agruparse en trenes, aunque fuera de lógica), pulsos largos y altos, reposos muy largos y, quizá, triangulares.

¿Qué ocurre en la situación intermedia entre normalidad y denervación? Debe seguirse la información que aporten las exploraciones sucesivas y adaptar los parámetros a las nuevas referencias en puntos útiles (para los pulsos) y los ángulos de deflexión (para los reposos). Si hay mejoría, la tendencia es a acortar los tiempos de ambos hasta componer trenes por hallarse próximos a la normalidad. Es la tarea más compleja, pero la más adecuada (v. «Denervación parcial», más adelante).

Umbral de excitación nerviosa



Con esta prueba se explora el *sistema neuromuscular* e interesa diferenciar cuál de las dos partes (nervio o músculo) es la más afectada. Para ello se realiza una comprobación comple-

mentaria que consiste en detectar el umbral de excitación del nervio que inerva la zona afectada como se detalla a continuación.

Se sitúa un electrodo grande que actúa de masa sobre el trayecto o plexo de origen nervioso que debe explorarse. Se aplica el electrodo [–], más pequeño y activo, en un punto en que aflore el nervio a la superficie y en sentido proximal al grupo muscular afectado. Estos puntos están determinados en los mapas de estimulación eléctrica motora (v. figuras en «Puntos motores monopolares nerviosos y musculares», en el cap. 3).

A continuación se aplica un impulso eléctrico cuadrangular lo bastante corto como para no superar el umbral de la fibra muscular (de 0,1 a 0,5 ms). Se observa la respuesta de contracción muscular en la zona inervada por el nervio explorado, de forma que cuando se detecte se tomará nota de la intensidad que se ha utilizado.

Una vez que se ha realizado, se hace lo mismo en el lado contrario y se mantienen las mismas condiciones de la prueba. Se toma nota de la intensidad necesaria para la estimulación semejante al lado antes explorado. Por último, se comparan ambas cifras con el fin de valorar la diferencia en la respuesta nerviosa.

Esta prueba está basada en la misma teoría de la *curva I/T*, es decir, se aplican en ambos lados impulsos con la misma duración, de forma que si uno de ellos tiene pérdida de sus funciones se necesitará mayor intensidad para conseguir el mismo efecto.

Si después de elevar al máximo la intensidad, en uno de los lados (o en ambos) no aparece respuesta motora, ello indicará un grave problema y tendrá que realizarse la curva completa para encontrar su comportamiento electromotriz.

Análisis de las curvas I/T-A/T



En la *figura 10-41* se presenta el trazado de las curvas cuadrangulares I/T más características:

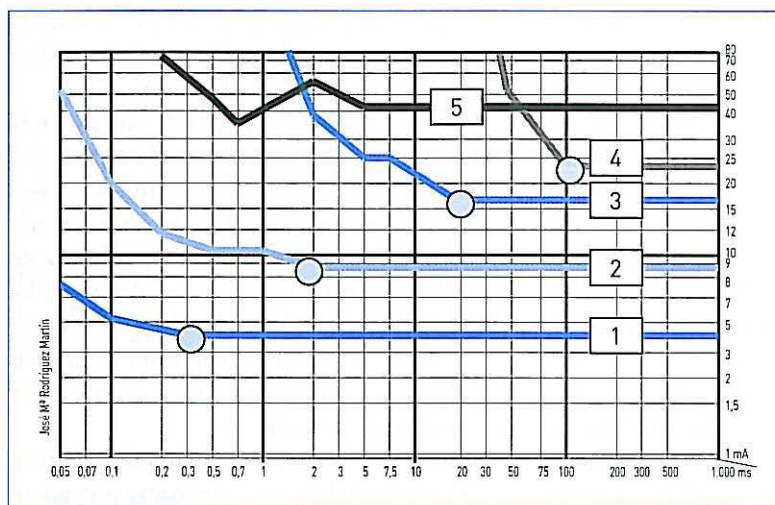


Figura 10-41. Curvas cuadrangulares I/T típicas: hiperexcitabilidad (1), normalidad (2), denervación parcial (3), denervación grave (4) y fibrosis muscular (5).

- Hiperexcitabilidad (1).
- Normal (2).
- Reacción de retraso parcial o denervación parcial (3).
- Reacción de retraso global o denervación grave (4).
- Fibrosis muscular (5).

Podrían concretarse en los trazados más significativos si se tiene en cuenta que, en la realidad, cada caso mostrará su propia forma y sus parámetros específicos en cada paciente, aunque de unas a otras, de las trazadas como curvas características, en el ejemplo siguiente presentarán semejanza.

Si se observa la gráfica con sus curvas (excluyendo la correspondiente a la fibrosis, 5) puede observarse cómo el *punto útil* se desplaza hacia arriba y hacia la derecha, en correspondencia con el empeoramiento del conjunto neuromuscular.

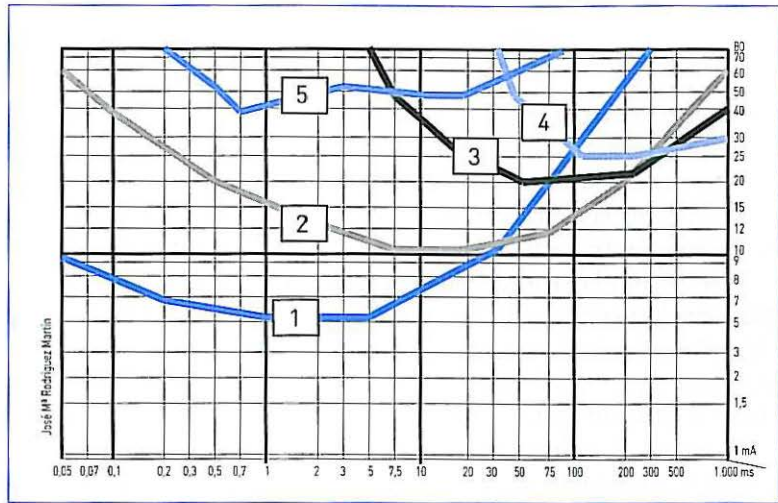
Una circunstancia importante que no debe pasarse por alto se refiere a las diferencias existentes entre las curvas correspondientes a *denervaciones* con relación a las *no denervaciones*, como fibrosis musculares, parálisis de primera neurona, miopatías, atrofas por reposo prolongado, «parálisis histéricas», alteraciones

metabólicas del músculo, etc., problemas en los cuales las curvas ponen de manifiesto que la acomodación es buena, la rama reobásica se localiza alta, el punto útil más a la izquierda que si, con la misma gravedad patológica, se tratara de una denervación. Además, aparece un parámetro muy importante: se aprecia cómo en los tramos de tiempos cortos la excitabilidad tiende a recuperarse, por ser los tiempos cortos más selectivos sobre la fibra nerviosa que sobre la muscular. De esta manera, al estimular las ramificaciones nerviosas motoras que inervan el músculo, éstas lograrán que el músculo se contraiga con mayor eficacia que con la estimulación eléctrica directa de las fibras musculares.

Respecto al trazado de las curvas características de acomodación (Fig. 10-42), si se toman como partida las curvas de acomodación A/T correspondientes a las expuestas con anterioridad como curvas características de I/T, también podrán estudiarse algunos fenómenos sobre éstas.

Al comparar las figuras 10-41 y 10-42, se comenzará el análisis en la curva de fibrosis (5). En primer término, se aprecia una línea quebrada que coincide en el mismo tiempo con la quebrada de la cuadrangular; también

Figura 10-42. Curvas triangulares A/T típicas: hiperexcitabilidad (1), normalidad (2), denervación parcial (3), denervación grave (4) y fibrosis muscular (5).



va más allá de la vertical de 1 ms para aplicar faradización (aunque resultaría mejor realizar faradización con impulsos de 0,7 ms). Además, se observa cómo la rama de acomodación anódica asciende con la suficiente angulación como para pensar que no existen problemas de acomodación y, por consiguiente, tampoco denervación. El ángulo de deflexión se encuentra lo bastante a la izquierda como para pensar en el buen estado del conjunto neuromuscular.

Siguiendo con un análisis global, el ángulo de deflexión de todas ellas se desplaza de forma progresiva de izquierda a derecha, en correspondencia con el grado de afectación. Las ramas de faradización o acomodación catódica (del ángulo de deflexión hacia la izquierda) se desplazan más hacia la izquierda cuanto mejor es la respuesta neuromuscular. Las ramas de acomodación anódica se cruzan entre sí (debe contemplarse y analizarse con detenimiento la Fig. 10-42), ya que cuanto mejor es el estado de respuesta más ascienden y dejan por debajo los trazados de los más graves.

Si se presta a tención a la derecha de la gráfica, se observan curvas con denervación, en las cuales sus zonas de respuesta quedan por debajo de las de menor afectación, con lo que,

si se aprovecha esta circunstancia, podrá estimularse de forma selectiva a los afectados sin llegar a superar el umbral excitomotor de los sanos. Este fenómeno producirá el TUT (Figs. 10-32 y 10-33).

En resumen, en algunos ejemplos de curvas más características se representarán algunas acompañadas de comentarios aclaratorios. En determinadas circunstancias, no es necesaria la exploración de la curva de acomodación, ya que la representación de la cuadrangular aporta los suficientes datos para aclarar lo pretendido. En otras ocasiones, el trazado de la triangular informará de lo deseado sin necesidad de la cuadrangular.

En la práctica cotidiana —y si se dispone de un buen equipo de electroestimulación—, casi todos los días y sobre la marcha de la aplicación del tratamiento se comprueba con rapidez si está cambiando algún parámetro que interese, como el ángulo de deflexión, el punto útil, la respuesta con 1 ms, la cronaxia, la reobase, el TUT, etc. De hecho, habrá que hacer frente a la circunstancia de que no todos los días y en todos los momentos la respuesta excitomotora es semejante. *Se anotará la evolución de forma periódica en las fichas de tratamiento y en las fichas de seguimiento.*

Hiperexcitabilidad



Suele representar estados o lesiones del sistema nervioso central (SNC) o de primera neurona motora a la vez que señala que está contraindicada la electroestimulación motora neuromuscular (Fig. 10-43).

Si se analiza la cuadrangular, lo primero que llama la atención es lo bajo que se dibuja en la gráfica (reobase muy baja) la rama reobásica larga, el punto útil muy a la izquierda y la cronaxia queda fuera de la gráfica.

La curva de acomodación indica buena respuesta acomodativa, tanto en la rama de acomodación catódica como en la de acomodación anódica. En el ascenso de la izquierda deja una amplia zona entre ambos trazados. En el ascenso de la derecha, la curva inicia una rápida subida y llega a salirse por el borde superior de manera que no puede calcularse el índice de acomodación, el cual sería muy elevado.

Denervación grave



Si la denervación fuese *total*, no podría anotarse valor alguno de respuesta en las gráficas, ya que, por muy largos y muy altos que

fueran los pulsos, si se hubiera establecido la degeneración walleriana, también habría degenerado por completo la sinapsis neuromuscular y el músculo se habría fibrosado: no se obtendrían resultados motores. Se encuentra esta situación en pacientes con varios años de evolución y con pronóstico fatal; en realidad, en pacientes recientes la alteración es relativa (representable en la gráfica) y con posibilidades de recuperación.

En las denervaciones graves interesa obtener las dos curvas: cuadrangular y triangular. Éstas van a ocupar los sectores del ángulo superior derecha de la gráfica (Fig. 10-44). La rama reobásica será corta y bastante alta (reobase alta). La rama cronáxica se volverá vertical con rapidez. El punto útil se situará muy a la derecha. La rama de acomodación será corta y estará en una posición casi horizontal. El ángulo de deflexión estará muy próximo al punto útil. La rama de acomodación catódica, al igual que la de cronaxia, se vuelve vertical con rapidez. En este caso, el ángulo de deflexión deja de comportarse como tal y se lo considerará casi como un punto útil con triangulares.

El análisis conjunto de ambas curvas revela que transcurren bastante paralelas y cercanas, signo que muestra cómo la respuesta frente a los impulsos de subida rápida y la respuesta

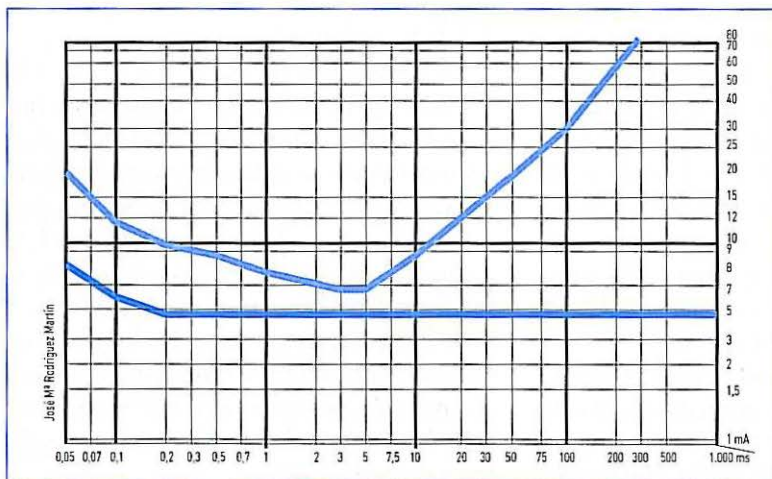
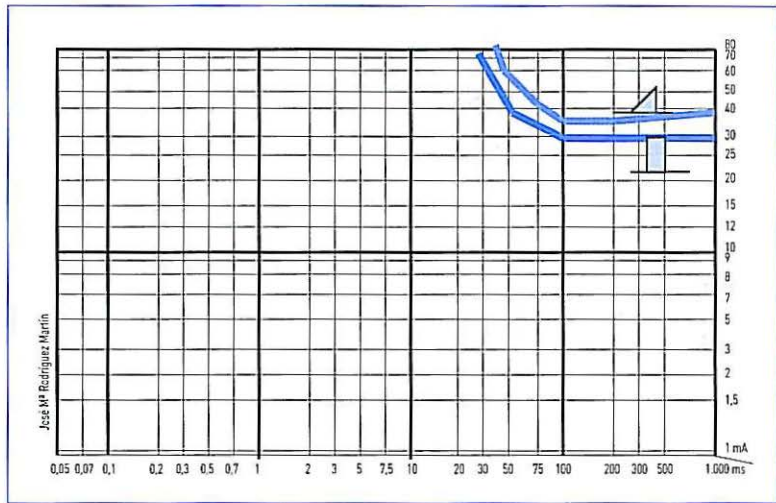


Figura 10-43. Con hiperexcitabilidad, las curvas se desplazan demasiado hacia abajo y hacia la izquierda.

Figura 10-44. En la denervación periférica grave, las curvas se desplazan hacia arriba y a la derecha (incluso pueden desaparecer si no se obtiene respuesta).



frente a los de subida progresiva presentan pocas diferencias. Esto ocurre cuando se acomodan a los impulsos de subida progresiva (característica de la denervación o mal trofismo del conjunto neuromuscular).

Las curvas indican que el tratamiento adecuado debería estar formado por impulsos cuadrangulares aislados de 100 ms e intensidades superiores a 30 mA. Sin embargo, se presenta la dificultad de que, a tan alta intensidad, lo más probable es que los sanos de las proximidades respondan antes, por lo que, en general, deberá descartarse esta opción y optar por impulsos localizados de forma previa en el TUT. Así se conseguirá que el músculo afectado se contraiga mientras que los sanos se acomoden y eviten su respuesta motora.

La razón que obliga a realizar el tratamiento con impulsos aislados responde al hecho de que la fibra denervada, además de perder acomodación, también pierde velocidad en todas sus reacciones electroquímicas de membrana (respuesta de acomodación, despolarización, respuesta motora y retraso en la repolarización). La repolarización obligará a distanciar bastante los impulsos, ya que si se aplican muy juntos no se dará tiempo a la bomba de sodio-

potasio para concluir su trabajo repolarizador de membrana. De no separarlos lo suficiente, se apreciará cómo la respuesta motora disminuye de forma progresiva cuando los impulsos van muy seguidos. Al separar los impulsos 3, 4 o 5 s, se tendrá en cuenta que todos se mantienen en semejante nivel de respuesta. En esta situación, el período refractario se alarga de forma exagerada.

Fibrosis muscular

Este tipo de curvas suele indicar que se está frente a un proceso en que el nervio ha sufrido una parálisis que ha evolucionado de manera favorable y la regeneración nerviosa ha sido espontánea, pero el músculo requiere entrenamiento a través del nervio recuperado.

La representación de sendas curvas (Fig. 10-45) ocupa todo el margen superior de la gráfica en su tercio o su cuarto más alto. Ambas pueden presentar escalones, quebradas o picos, es decir, irregularidades. La rama reobásica puede mostrar una longitud normal. La rama cronóxica suele poner de manifiesto irregularidades, quebradas o escalones: indicadores de cambios en la respuesta motora. La reobase está muy alta. La cronaxia puede

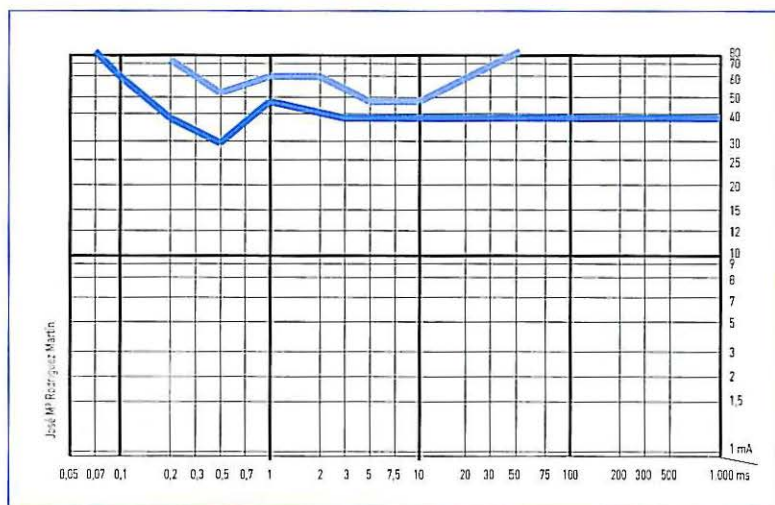


Figura 10-45. En los procesos de fibrosis y atrofia muscular, las curvas tienden a desplazarse mucho hacia arriba y un poco hacia la derecha.

hallarse en las proximidades de la normalidad. El coeficiente de acomodación puede ser normal (si se puede hallar), pero, en su defecto, la rama de acomodación anódica sigue una trayectoria lo bastante inclinada como para llevar a pensar en buena acomodación, aunque salga de la gráfica por su parte superior antes de alcanzar la vertical de 1.000 ms. El umbral farádico puede marcarse próximo a la vertical de 1 ms, aunque tal vez convenga elegir otro tiempo y otra forma más específicos y favorables para componer trenes de farádicas.

En este caso, la corriente debe estar formada por trenes de faradización bien elegidos. En los trazados del ejemplo se aplicarían trenes formados por impulsos de 0,5 ms y reposos de unos 10 ms con trenes de 2 a 4 s buscando el punto motor nervioso, pues se aprecia que el nervio retoma el control de forma clara y selectiva.

Denervación parcial

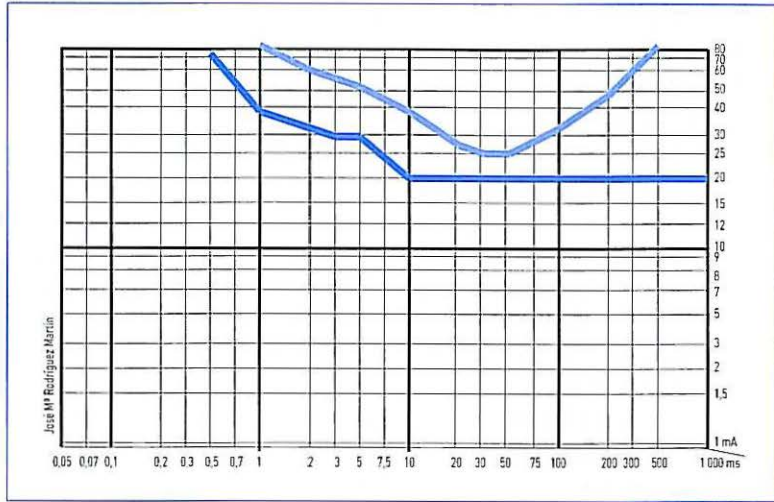
En esta situación, la evolución puede ser regresiva o de mejoría. El análisis periódico (cada semana o cada 2 semanas) indicará la evolución y las modificaciones pertinentes

para revertir el proceso si fuera de mal pronóstico. En las denervaciones parciales realmente se aprecia la importancia de una estimulación bien realizada y bien planificada.

Se deben practicar las dos curvas (Fig. 10-46). Serán las más variables y más complejas en su interpretación, pues necesitarán buena información procedente de la historia clínica. La rama reobásica no es tan corta como en las denervaciones serias, ni tan larga como en la normalidad. La rama cronáxica asciende con bastante inclinación, pero está lejana de la verticalidad, puede presentar escalones y llegar a cruzar la vertical de 1 ms en su parte más alta (umbral farádico). El coeficiente de acomodación puede calcularse alrededor de 3 o 4. La rama de acomodación anódica suele dibujarse con una inclinación moderada. El ángulo de deflexión se sitúa entre los 25 y los 100 ms. La rama de acomodación catódica sube bastante paralela a la cronáxica y puede cortar a la vertical de 1 ms y marcar el umbral farádico.

La duda aparece en el momento en que se comienza a tocar el umbral de faradización para decidir la terapia que deberá aplicarse, cambiando de impulsos aislados (propios de la denervación grave) a corrientes farádicas o trenes modificados (propios de los estados de normalidad).

Figura 10-46. En la denervación parcial, ambas curvas se desplazan hacia arriba y hacia la derecha, pero no es comparable con el desplazamiento de las denervaciones graves.



Puede resultar interesante esperar a que el umbral de faradización refleje una intensidad más baja. Quizá no está indicada todavía la faradización por el hecho de que respondan mejor los sanos de las cercanías. Tal vez, una corriente farádica de impulsos y reposos distintos a lo normalizado (10 ms de impulsos triangulares y 50 ms de reposo) aporte mejores resultados; quizá se obtengan si se cambia de método de aplicación: de monopolar a bipolar o viceversa, monopolar en punto nervioso, cambio de polaridad, buscar nuevos puntos motores, etcétera.

En cualquier caso conviene aplicar, cuanto antes, trenes de faradización con los valores de tiempo en impulso y reposo modificados (siempre que se observe una buena respuesta) con el fin de acelerar y aumentar la eficacia del tratamiento. Al menos, deben acortarse los tiempos de los reposos entre impulsos (si fueran aislados) para hacer trabajar más y mejor al nervio o músculo parcialmente denervados.

Quando las curvas se encuentran en esta zona intermedia, pueden representar multitud de situaciones, poco fáciles de interpretar, circunstancia que obliga a buscar información en la historia clínica para entender la posible patología mostrada. Con todo, estas curvas serán de

gran utilidad en los casos en que los tratamientos con estimulación eléctrica no respondan como sería el deseo del fisioterapeuta sin entender el porqué. Las curvas obtenidas aclararán dudas e indicarán el mejor tratamiento posible (no se trata de precisar un diagnóstico).

A modo de ejemplo, se analizará qué podría aplicarse para influir en la mejoría del paciente según las curvas de la figura 10-46. Interesa que en la próxima exploración el conjunto se haya desplazado hacia abajo y hacia la izquierda. Por ello se irán aplicando parámetros *hacia la izquierda de los marcados (pero próximos)*:

- Se observa que el punto útil muscular está en 10 ms. Sin embargo, para formar la corriente de tratamiento, se aplicarán pulsos cuadrangulares de 7 ms. Si respondieran otros músculos no pretendidos, tendría que intentarse con triangulares.
- Se observa que el ángulo de deflexión se encuentra entre 30 y 50 ms. Con todo, para la corriente del tratamiento se elegirán 25 ms.
- Con estos parámetros se formará una corriente farádica con trenes de unos 4 s seguidos de pausas de unos 10 s y, dentro de la farádica, pulsos cuadrados monofásicos de 7 ms con reposos de 25 ms.

- Se usará el [-] como electrodo activo.
- Tendrá que elevarse la intensidad algo más de lo normal, pero al cabo de unos días, cuando se realicen las nuevas curvas, quizá se hayan desplazado los parámetros más hacia la izquierda y con intensidades menores.

¿Por qué se proponen 4 s de trabajo y 10 s de descanso? Quizá porque no se le podrá exigir al músculo o músculos grandes esfuerzos, por lo que deberá respetarse su fatiga y optar por el hecho de que el tiempo de descanso sea bastante mayor que el de trabajo. No obstante, la observación del comportamiento en cuanto a la respuesta y la fatiga guiará la decisión sobre la modificación de estos parámetros. Sin embargo, esta cuestión se tratará en el próximo capítulo.

Cuando un conjunto neuromuscular es capaz de responder con este tipo de corrientes, también son capaces de responder activamente de forma voluntaria, lo que lleva a pensar en la aplicación simultánea de *biofeedback*.

Si se llevan a cabo exploraciones periódicas, se apreciará la evolución de la patología y su forma de mejorar o empeorar: si evoluciona de forma predominante el nervio o si evoluciona predominantemente el músculo.

Las curvas situadas en esta zona reflejan de manera simultánea problemas degenerativos nerviosos o problemas degenerativos musculares (fibrosis muscular), aunque sólo se deban a un proceso patológico *sin denervación* muy prolongada en el tiempo.

Es muy interesante la observación habitual por comparación de dos patologías semejantes, pero una tratada con electroestimulación y la otra sin tratar. Queda reflejado en la gráfica cómo la fibrosis muscular apenas se aprecia en la patología tratada mientras que es claramente manifiesta en la no tratada. Si a esta fibrosis se le aplica de inmediato un tratamiento bien diseñado con ayuda de las curvas, se conseguirán mejorías espectaculares en las primeras fases del tratamiento.

Los procesos que se iniciaron como denervación, si no se trataron de manera adecuada, conducirán a fibrosis del músculo. Pasado un tiempo, al trazar las curvas, pueden indicar que el nervio ha recuperado su función, pero el músculo queda rezagado en su respuesta.

Debido al desprestigio de esta exploración, desprestigio «provocado con el surgimiento de la electromiografía», se está olvidando su utilidad y las posibilidades que presenta para el seguimiento y la precisión en los tratamientos.

Es frecuente que, después de una etapa larga de tratamiento de una denervación, el paciente sea dado de alta de forma temporal, a la espera de la evolución electromiográfica al cabo de 2 o 3 meses.

Al dejarnos el paciente por el alta temporal, los parámetros eléctricos se hallaban mantenidos o con moderada tendencia a evolución de mejoría, pero a la vuelta del paciente, y tener que reiniciar el tratamiento con electroestimulación, se detecta un brusco empeoramiento en el comportamiento eléctrico del conjunto neuromuscular.

Es importante realizar un seguimiento en fichas de datos semejantes a las del anexo 10-1 que se cita en las últimas páginas de este capítulo o, al menos, algunos datos fundamentales para demostrar la importancia de un tratamiento con la debida precisión.

Tratamiento de la parálisis facial

Las parálisis faciales pueden presentar diversos pronósticos dependiendo del tipo de lesión sobre el trigémino o alguna de sus ramas.

Muchas lesiones implican una grave neurotmesis, por lo que el pronóstico será malo. Sin embargo, hasta que no se compruebe, debe intentarse el tratamiento con estimulación eléctrica.

Por suerte, gran número de lesiones son neuropraxias o, como mucho, neurotmesis,

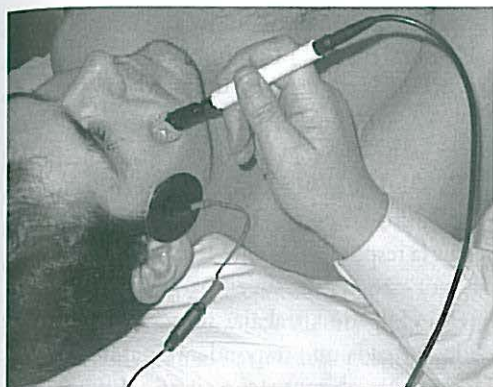


Figura 10-47. Electrodo puntual en busca de puntos motores con electrodo indiferente en la salida del trigémino.

de recuperación total o parcial. En estos casos está muy indicado el tratamiento con electroestimulación.

La técnica tiene que ser muy precisa y cuidadosa, lógicamente, por la gran sensibilidad de la zona y los posibles efectos colaterales (zumbidos auditivos, visión de destellos, sabores a lejía o a ácido, salivación excesiva, picor de garganta, espasmos de glotis, mareos o sensación de agobio, etc.). Se deben evitar estas situaciones y prevenir al paciente para que éste

no se alarme y, en cambio, las comente para corregirlas.

Además, deben considerarse posibles artefactos metálicos sobre la piel (adornos) o en el interior de la boca, en general procedentes de trabajos para el mantenimiento dental.

La técnica requiere:

- Dedicación personalizada y manual durante el tratamiento.
- Ajustar los parámetros de tiempo, forma y, sobre todo, intensidad de los pulsos.
- Uso de un electrodo puntual y manual (Fig. 10-47).
- Utilización de un electroestimulador que permita aplicar la técnica con la pureza requerida (bien pulsos con polaridad, bien modulaciones de media frecuencia; Fig. 10-40).
- Controlar en todo momento la situación del electrodo y los parámetros eléctricos del paciente.
- Conocer bien los músculos de la cara y sus puntos motores (Fig. 10-48).
- Adaptar los parámetros eléctricos a la afectación de cada músculo.
- Comentar con el paciente en todo momento la evolución de la sesión.

10

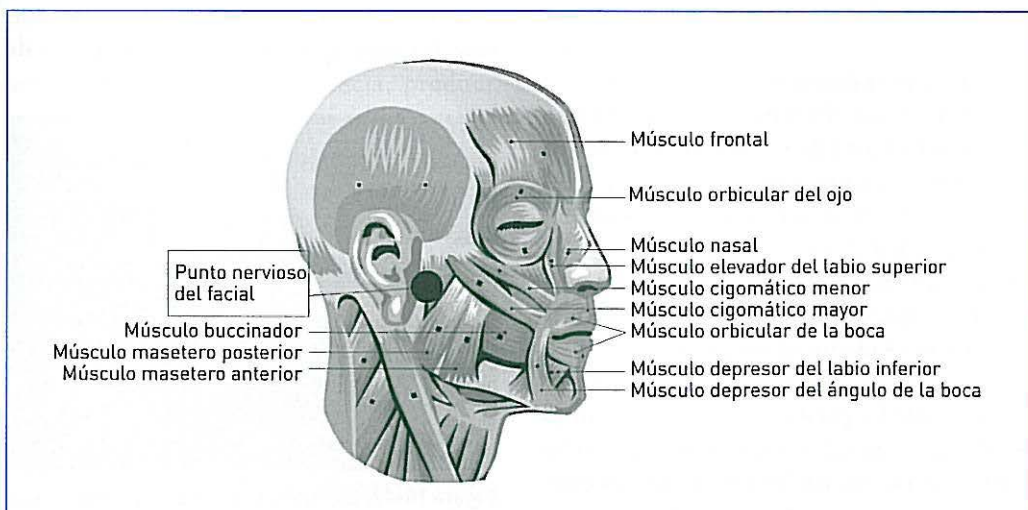


Figura 10-48. Puntos motores de la cara.

- Cambiar cada 4 o 5 minutos de músculo tratado para volver a realizar el recorrido varias veces en la misma sesión.
- Intentar no fatigar la musculatura tratada o provocar dolores neurálgicos.
- Llevar un seguimiento en fichas para control de la evolución de cada músculo tratado.
- Ir adaptando los parámetros eléctricos a la evolución del paciente.

Una de las grandes dificultades de este tratamiento se halla en la diferente afectación en las tres ramas nerviosas del facial (frontal, maxilar superior y maxilar inferior) y, como consecuencia, los diferentes niveles de respuesta de los músculos interesados. Ello obligará a considerar cada músculo como independiente y, en cada uno de los afectados, a localizar bien el punto motor (y memorizarlo), a buscar el tiempo de pulso más adecuado, el reposo suficiente, la forma triangular o cuadrangular (quizá, triangular) y elevar la intensidad de forma lenta hasta conseguir la respuesta motora deseada (v. «Denervación grave», antes).

Si no se consigue la respuesta motora deseada en cada uno de ellos, por lo general no se deberá a su imposibilidad para contraerse; quizá se deba a fallos de la técnica, que debe depurarse mediante la depuración:

- En buscar su punto motor.
- En operar con diferentes tiempos de pulso triangulares en relación con sus vecinos.
- En variar la intensidad con el debido cuidado para no causar molestias desagradables por descuidos.
- En disminuir, de forma previa, la intensidad siempre que se modifiquen los parámetros o se recolque el electrodo.

Dado que las parálisis se tratan con pulsos aislados separados 2 o 3 s, si se aprecia que las primeras respuestas son buenas y las sucesivas decaen, se aumentará en más segundos el tiempo de reposo. Para realizar descansos, proteger al

paciente frente a pulsos muy molestos y evitar saturación, debe usarse el pulsador de aplicación intencionada en lugar de automatizar los reposos (Fig. 10-49). El paciente controlará el pulsador según las órdenes del fisioterapeuta.

La salida del nervio facial puede utilizarse como punto motor nervioso y activo para conseguir la respuesta de todos los músculos inervados por este nervio; sin embargo, en la práctica se está obligado a trabajar músculo a músculo, dado que cada uno responderá a parámetros diferentes. No obstante, con cierta alternancia, se usará como punto activo para dejar descansar la piel de los puntos motores musculares.

El adecuado tratamiento debe contemplar la opción de aplicación del punto motor nervioso del facial y del tratamiento manual de los diferentes músculos con sus puntos motores musculares. En el nervioso, se tratará de manera predominante el nervio y las sinapsis neuromusculares; en los puntos musculares, se tratará de forma dominante la sinapsis neuromuscular y el músculo.

Tratamiento de la parálisis de cuerdas vocales y la musculatura adyacente



Se ha desarrollado un estimulador para realizar tratamientos específicos de parálisis de



Figura 10-49. Electrodo puntual en busca de puntos motores con electrodo indiferente en la salida del trigémino.

cuerdas vocales y musculatura adyacente por causas variadas, como apoplejías o intervenciones quirúrgicas.

El método no incluye sólo la electroestimulación de la zona sino que se acompaña de una metodología progresiva y adaptada de entrenamiento voluntario y activo, a la vez que se aplica estimulación eléctrica.

Dado que se está tratando de una zona hipersensible a estímulos eléctricos y, en lo posible, conviene evitar efectos galvánicos, el equipo se ha diseñado de manera que pueda aplicarse con corrientes de media frecuencia sin polaridad.

En principio, el vocaSTIM tiene límites de intensidad más reducidos que un estimulador estándar, posee las corrientes típicas que permiten realizar las curvas de exploración, permite llevar a cabo tratamientos con ondas monofásicas o bifásicas de baja frecuencia, pero lo más importante es que permite aplicar modulaciones de media frecuencia triangulares (Fig. 10-40) sin componente galvánico y bajo nivel de molestia en el paciente.

En la figura 10-50 se representan las dos opciones disponibles para realizar el tratamiento. En la figura 10-50 A se observa el típico pulso monofásico triangular de unos 160 ms con componente galvánico y molesto, por ser de baja frecuencia; produce quemazón eléctrica y provoca sabores extraños en los pacientes. En la figura 10-50 B se observa la otra opción con modulaciones triangulares que sustituyen al pulso anterior, pero que no poseen efecto galvánico ni tienen sus consecuencias; además, es más soportable por llevar de base una portadora de 4.000 Hz en media frecuencia.

El uso del pulsador para aplicación intencionada es fundamental en la metodología propuesta, pues se basa en ejercicios intencionados según Förster, muy apropiada para todo tipo de parálisis periféricas y más si se refuerzan con *biofeedback*.

Teoría de la denominada ley fundamental de la respuesta electromotriz



Según Weiss y más tarde Lapicque, la respuesta motora frente a un pulso eléctrico, obedece a una relación directa entre su altura y el tiempo de duración:

- Altura = I (intensidad).
- Tiempo = t (duración del pulso).

De esta guisa:

- Si un pulso es largo, la altura será baja.
- Si un pulso es corto, la altura tendrá que aumentar para compensar la pérdida de energía aplicada.

Así pues, se establece que:

$$Q = I \cdot t$$

Siendo: Q = la cantidad de carga energética, que se puede representar por el área ocupada en la gráfica y delimitada por sus parámetros (Fig. 10-51). Así pues, en la citada figura se dibujan cuatro pulsos representados por A = 4 ms con 10 mA; B = 2 ms con 20 mA; C = 1 ms con 40 mA, y D = 0,5 ms con 80 mA.

Con esta teoría o pretendida ley se afirma que, cuanto más largo es un pulso, menor intensidad se requerirá y que, cuanto más corto es un impulso, en la misma proporción se elevará su intensidad. Sin embargo, en la realidad no es así. Si se limitan las gráficas a un máximo de 5 ms, parece que es cierta, pero si la gráfica alcanza los 1.000 ms, ya no se cumple.

Se llega a afirmar que la reobase es la intensidad en un valor de tiempo infinito (en lugar de en 1.000 ms), lo que da a entender que, según la fórmula, si un pulso fuera muy largo, la intensidad podría ser de 0 mA.

En la realidad práctica y frente a pulsos superiores a 5 ms, esto no se cumple, pero es

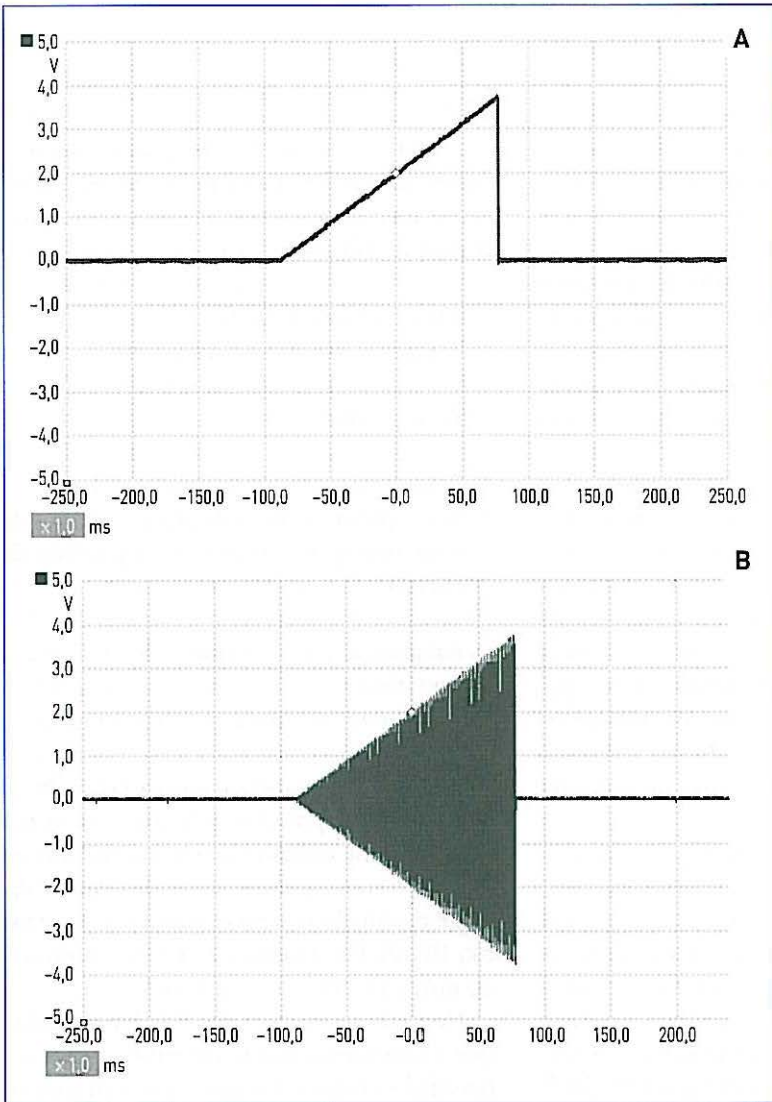


Figura 10-50. Tratamiento de las parálisis de cuerdas vocales y musculatura adyacente mediante el vocaSTIM. A) Típico pulso monofásico triangular de unos 160 ms con componente galvánico y molesto, por tratarse de baja frecuencia. B) Modulaciones triangulares de media frecuencia que sustituyen al pulso anterior, pero que no poseen efecto galvánico ni provocan sus consecuencias.

bastante cierto a la izquierda del punto útil de músculo o del punto útil nervioso. A partir de 10 ms, la respuesta se mantiene con la misma intensidad (incluso puede tender a subir la intensidad al aumentar el tiempo; Fig. 10-52). Además, suele aparecer más de una parábola que produce escalones que rompen la tendencia en la teoría que se propone.

Proponer esta *ley fundamental de la excitomotricidad* ha conducido a errores, enfoques

confusos del tema y disparidad de opiniones en lugar de unificar criterios y profundizar en la fisiología de la excitomotricidad.

Esta Ley propone basar la respuesta electromotriz en los conceptos de reobase y de cronaxia sólo en situaciones de normalidad y atribuir a la reobase valores con tiempo de 5 ms. Si se considera que la primera es la intensidad con un tiempo largo (debiera ser 1.000 ms) y la cronaxia es el tiempo con el

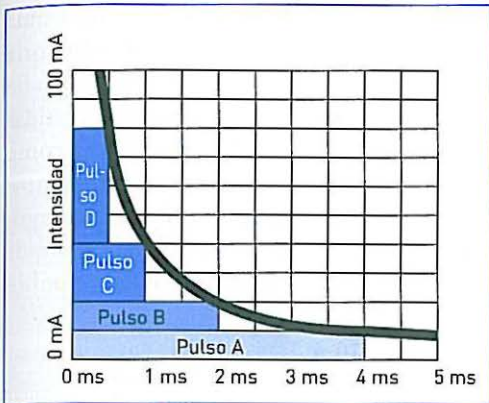


Figura 10-51. Los pulsos A, B, C y D ocupan la misma área (8 cuadros cada uno) de forma que lo que pierden en tiempo tienen que ganarlo en altura para mantener el mismo nivel de respuesta frente a pulsos cuadrangulares.

doble de intensidad que la reobase, ambos parámetros son sólo dos puntos en la curva, por lo que se olvidan y se desprecian los demás accidentes tan fundamentales para el diseño de corrientes, como los puntos útiles y el umbral de faradización.

Esto ha conducido a generar escuelas diferentes hasta el punto de que en el mercado se pueden encontrar equipos de estimulación diseñados según un enfoque y otros fabricantes aplican otros criterios.

Muchos de los equipos portátiles (alimentados con baterías) se apoyan en esta teoría y utilizan el tiempo de cronaxia, como los mejores tiempos de pulso para estimular. Estos equipos siempre trabajan con pulsos muy cortos para uso de neuroestimulación motora de deportistas. Estos equipos no son aplicables a patologías moderadas y menos a las graves, donde pueden alcanzarse los 300 o 400 ms de pulso. Si los portátiles generaran impulsos largos, agotarían de forma rápida las baterías y dejarían de ser prácticos y portables.

Tensiomiografía

Todavía persisten dudas sobre comportamientos biológicos cuando se aplican estímulos eléctricos al conjunto neuromuscular, que se podrían investigar y analizar con un sistema de análisis de la contracción de forma gráfica por un ordenador. Se trata de la tensiomiografía computarizada que se desarrolló para estudiar el comportamiento y la evolución muscular en deportistas.

Sin embargo, esta herramienta podría ser muy útil para estudiar las variaciones que se producen en procesos patológicos (no tanto sobre fibra sana de deportistas), en los que podrían estudiarse: las atrofas, las parálisis

Figura 10-52. Representación de una curva que va desde 1.000 hasta 0,1 ms (no desde 5 hasta 0,1 ms) con pulsos cuadrangulares. En este caso se aprecia que la referida ley de la respuesta electromotriz es de relativo cumplimiento.



centrales, las parálisis periféricas, las fibrosis, las contracturas, cómo es la contracción con el cátodo, cómo funciona con el ánodo o con las ondas bifásicas, la contracción en el punto motor nervioso, la contracción en el punto motor muscular, la respuesta con pulsos largos, la respuesta con pulsos cortos, la respuesta en el ángulo de deflexión, la contracción en la rama de acomodación anódica o en la catódica, frente a cambios degenerativos progresivos, frente a cambios regenerativos, etcétera.

Este sistema consiste en aplicar pulsos cuadrados monofásicos de 1 ms, provocar la contracción y analizar la onda de contracción (la onda mecánica). En cambio, si en lugar de aplicar únicamente 1 ms, pudiera usarse un estimulador profesional, quizá se abriría un campo de posibilidades muy amplio y de fácil manejo.

En general se palpa para entender lo que ocurre en las contracciones musculares, pero aparece la eterna polémica frente a la interpre-

ración de lo que cada uno palpa, de lo que cada uno interpreta o de la habilidad palpatoria de cada persona. Por ello, la tensiomiografía objetivaría multitud de cuestiones sometidas a divagación. Por ejemplo, objetivaría cómo es la respuesta con pulsos triangulares cortos y cómo es frente a pulsos triangulares largos que, recuérdese, con los cortos es a la entrada del pulso y con los largos a la salida del pulso.



Vídeo 10-4. Tensiomiografía



Autoevaluación

FICHAS DE CAPTURA DE DATOS Y EXPLORACIÓN



Anexo 10-1. Fichas para captura de datos, gráficas para curvas y fichas para seguimiento de los tratamientos

Material complementario en el sitio web

- Anexo:
 - 10-1. Fichas para captura de datos, gráficas para curvas y fichas para seguimiento de los tratamientos
 - 10-2. Curvas y I/T-A/T lineales y logarítmicas
- Autoevaluación
- Vídeos:
 - 10-1. Curvas I/T-A/T ayudadas
 - 10-2. Triángulo de utilidad terapéutica
 - 10-3. Aplicación intencionada
 - 10-4. Tensiomiografía





11

Estimulación neuromuscular

Contenido

- Desarrollo del concepto de estimulación de fibra nerviosa y muscular sana
- Concepto de período refractario y su influencia en la formación de las corrientes en forma de trenes o secuencias
- Desarrollo de la formación de los trenes y su pausa en trabajo neuromuscular
- Tiempos de pulso y de reposo dentro de los trenes
- Utilidad de la estimulación muscular con trenes
- Aplicaciones de los trenes
- Descripción de las características de los estimuladores con estos fines
- Propuesta de diseño de un neuroestimulador

Objetivos de aprendizaje

- Comprender el porqué de los tiempos de tren y de pausa entre trenes y sus tiempos de pulso y reposo dentro del tren.
- Asimilar el concepto de dosificación en contracciones musculares.
- Saber qué es el período refractario.
- Saber manejar un estimulador de neuroestimulación motora.
- Diferenciar bien las corrientes farádicas, las corrientes de Kots y las de alto voltaje o EMS.
- Conocer las utilidades de los trenes o faradización muscular con sus matices.
- Comprender el manejo y los parámetros de este tipo de aparatos.
- Saber cómo realizar una potenciación y una elongación muscular.

Síntesis conceptual

- ✓ En este capítulo se desarrolla la neuroestimulación en trabajo muscular de fibra sana o relativamente sana con corrientes agrupadas en ráfagas o trenes.
- ✓ Se profundiza (incluso se es reiterativo en ciertos conceptos) sobre el porqué de sus parámetros en cuanto a tiempos e intensidades, así como en relación con los modos de dosificar la contracción muscular.
- ✓ Se hace referencia a tres tipos fundamentales de corrientes en forma de secuencia: trenes de corrientes farádicas, trenes de alto voltaje y trenes de media frecuencia (corriente rusa o de Kots). Se detallan y se desarrollan sus propiedades y sus diferencias. Se explican las características básicas de los tres sistemas en cuanto a parámetros.
- ✓ Se propone un posible diseño de un neuroestimulador de alto voltaje que puede resultar útil para fabricantes, a fin de que los profesionales entiendan su funcionamiento, y para tratar de unificar criterios y nomenclatura.
- ✓ Se desarrollan utilidades de la electroestimulación muscular para relajar, tonificar, potenciar, elongar y otras aplicaciones.

ESTIMULACIÓN DE FIBRA MUSCULAR NO DENERVADA

Cuando la musculatura posee una capacidad de trabajo normal o en caso de patologías no severas, es posible estimularla a través de la fibra nerviosa eferente o a través de la placa motora de cada músculo mediante corrientes de baja y de media frecuencia agrupadas en ráfagas para provocar trabajo muscular, sin interrupciones, durante varios segundos, con descansos o pausas de trabajo muscular en cadencias (se reserva la expresión «reposo» para el tiempo entre pulso y pulso dentro del tren). Este proceso se denominó faradización muscular porque la primera corriente que se diseñó para este fin fue la farádica.

Es importante comprender que la contracción muscular provocada puede ir desde una mínima contracción ligeramente perceptible hasta una gran contracción muscular con riesgo de rotura muscular. Entre ambos extremos hay un margen muy amplio que será el objetivo a desarrollar. Podría intentarse una clasificación graduada de fuerza contráctil, pero no se trata de eso, es decir, *la contracción se adaptará al objetivo propuesto*.

Es frecuente la polémica sobre el momento en que debe iniciarse la estimulación del cuádriceps en las plastias del músculo cruzado anterior (si debe iniciarse antes de las 4 semanas tras la intervención, si ésta debe realizarse después de las primeras 4 semanas tras la intervención). Siempre que la contracción muscular sea un simple movimiento isométrico que no transmita tensión a la articulación, puede perderse el miedo e iniciarse pronto. Sin embargo, si la contracción generada por la corriente es tal que transmite tensión y provoca movilidad articular, quizá la plastia todavía no esté preparada para soportar esa tensión o no proceda la movilidad articular causada. Así pues, no se trata de la cantidad de contracción, se trata más bien de la habilidad para

saber si es suficiente, poca o excesiva. Con esto se pretende plantear la importancia que tiene la regulación de la intensidad y la completa valoración palpatoria de la zona (no sólo del cuádriceps) para decidir si el nivel de respuesta es baja, buena o excesiva para cumplir el objetivo planificado.

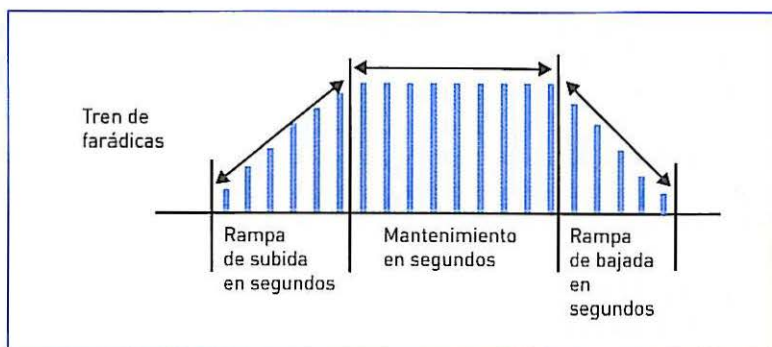
Así, si se busca relajación y analgesia, la respuesta será baja y negociada con el paciente y se tendrán en cuenta sus percepciones. Si el objetivo fuera causar movilidad articular, hasta que no se observe dicha movilidad de forma clara, no se cejará en el intento de elevar la intensidad. Si el objetivo es el fortalecimiento muscular y la contracción no alcanza una dureza muscular y una tensión articular suficientes, será mejor que el músculo se fortalezca sin electroterapia. Y si se intenta una potenciación intensa, tendrá que provocarse más contracción muscular de la que el paciente es capaz de alcanzar por sí solo de forma voluntaria. Si es imposible que el paciente soporte la corriente que se intenta, habrá que retocar sus parámetros o cambiar de corriente.

En definitiva, es frecuente observar que se eleva un poco la intensidad, aparece «cierta» contracción, el paciente no se asusta, la siente de manera agradable y el fisioterapeuta se dirige a otra tarea satisfecho de que «la terapia no servirá para nada». Esto genera la disputa sobre la utilidad de la electroestimulación muscular y su capacidad de fortalecimiento muscular. A saber, si la metodología de dosificación es correcta, se obtendrán resultados óptimos; si la metodología es errónea, los resultados también lo serán.

FARADIZACIÓN NEUROMUSCULAR

Cuando se pretende conseguir contracciones musculares mediante la aplicación de estimulación eléctrica transcutánea, de forma clásica se ha logrado con corrientes pertenecientes al grupo de las galvánicas interrumpidas, con dos formas fundamentales:

Figura 11-1. Esquema básico de un tren de farádicas u otra corriente para estimulación muscular en ráfagas.



- Con impulsos aislados cada cierto tiempo (más de 1 s) para que cada impulso produzca una única contracción.
- Si se desea una contracción muscular mantenida durante unos segundos, deberán utilizarse impulsos agrupados en trenes o ráfagas (también denominadas secuencias).

En este capítulo no se desarrollarán los pulsos aislados (v. cap. 10).

En caso de trenes, los impulsos dentro del tren deben estar lo bastante juntos para que el músculo no presente clonus o contracciones vibratorias, y lo bastante separados entre sí para no impedir la repolarización de la membrana en el conjunto neuromuscular.

Estas agrupaciones de impulsos o trenes de manera clásica reciben (o recibían) el nombre de *trenes de corrientes farádicas* o *faradización*

muscular. Así pues, las corrientes destinadas a la faradización muscular presentan las siguientes características (Figs. 11-1 y 11-2):

- Son corrientes de baja frecuencia (también las hay de media frecuencia).
- Están destinadas a producir contracción muscular mantenida durante unos segundos.
- Los trenes están formados por impulsos cuadrangulares o triangulares (de preferencia, cuadrangulares).
- Se aplican durante unos segundos, seguidos de pausas, también de varios segundos.
- Los tiempos de tren pueden oscilar entre 0,5 y 30 s.
- Los tiempos de pausa entre trenes pueden estar comprendidos entre 0,5 y 60 s.
- Los trenes cortos (± 1 s) pueden disponer de una rampa mínima o implantación brusca (pero son poco intensos).

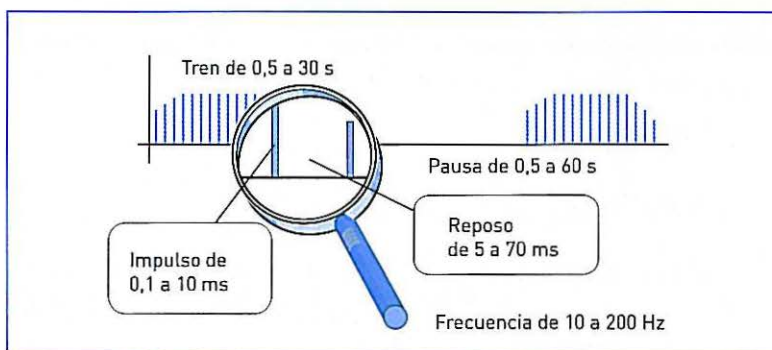


Figura 11-2. Esquema de trenes con sus pausas y los pulsos y reposos contenidos dentro de los trenes.

- Los trenes prolongados e intensos deben ser de implantación progresiva y descenso progresivo.

En los inicios de la electroterapia se usó la farádica como única corriente, pero en la actualidad se emplean trenes de tres tipos:

- Trenes de farádicas.
- Trenes de alto voltaje.
- Trenes de media frecuencia o de Kots.

Los trenes de farádicas *son de baja frecuencia* y se caracterizan por pulsos monofásicos o bifásicos, por un tiempo de pulso ajustable entre *0,1 y 10 ms*; por un tiempo de reposo ajustable entre *5 y 100 ms*, y por un tiempo de tren, un tiempo de pausa, rampas y su intensidad correspondiente. No suele aportarse el valor numérico de frecuencia.

Los trenes de alto voltaje *son de baja frecuencia* y se caracterizan por *ajustarse en frecuencias*, por pulsos monofásicos o bifásicos ajustables entre *0,1 y 0,5 ms*, y el reposo depende de la frecuencia, por un tiempo de tren, un tiempo de pausa, rampas y su intensidad correspondiente. Por lo general se ajusta la frecuencia entre 10 y 100 Hz.

Los trenes de media frecuencia *son ondas sin polaridad, de media frecuencia modulada en baja frecuencia* y se caracterizan por *ajustarse en frecuencias*, por un tiempo de pulso o *modu-*

lación regulable entre *2 y 10 ms*, y el reposo depende de la frecuencia. También se ajusta un tiempo de tren, un tiempo de pausa, rampas y su intensidad correspondiente. La frecuencia oscila entre 10 y 90 Hz.

Puede encontrarse otra modalidad de media frecuencia, pero en este caso no se considera porque las modulaciones son sinusoidales y sin reposo entre modulaciones. Son poco eficaces y no respetan el período refractario.

En la [tabla 11-1](#) se resumen los parámetros típicos (indicados en cursiva) que más caracterizan a cada una de estas corrientes. Si se analizan los valores con detalle, se notarán las diferencias también destacadas en los párrafos anteriores.

Después de analizar la información de la tabla, merece la pena detenerse en identificar las diferencias entre estas tres corrientes:

- Dos son de baja frecuencia y una es de media frecuencia.
- Dos pueden ajustarse con polaridad o ser bifásicas; la tercera no posee polaridad.
- En la corriente farádica, no se representa la frecuencia; en las otras dos, sí.
- Los pulsos de las corrientes farádicas van de 0,1 a 10 ms.
- Los pulsos de las corrientes farádicas son triangulares y cuadrangulares.
- Los pulsos de alto voltaje son cuadrados.
- Las modulaciones de Kots deben ser cuadradas.

Tabla 11-1. Valores típicos de tiempos de impulso y de frecuencias (según tipo de fibra) para las tres modalidades de estimulación motora

	Fibra lenta	Fibra media	Fibra rápida	Nervio motor
Farádica	P 3-5 ms R 20-30 ms	P 1-3 ms R 15-20 ms	P 0,5-1 ms R 12-15 ms	P 0,3-0,5 ms R 10-12 ms
Alto voltaje	P 0,3-0,5 ms F 40-50 Hz	P 0,3-0,5 ms F 50-65 Hz	P 0,3-0,5 ms F 65-80 Hz	P 0,3-0,5 ms F 80-100 Hz
Media frecuencia (Kots)	P 6-10 ms F 40-50 Hz	P 4-8 ms F 50-65 Hz	P 2-6 ms F 65-80 Hz	No procede

En cursiva se indican los parámetros típicos.

- Los pulsos de alto voltaje no superan 0,5 ms.
- Los pulsos (o mejor, modulaciones) de Kots no son menores de 2 ms.

Análisis de un tren de impulsos

Si se observa la figura 11-1, puede advertirse que el tren posee:

- Una entrada progresiva con su tiempo de rampa de subida.
- Un tiempo de mantenimiento en la máxima intensidad.
- Una rampa de bajada.
- Una pausa antes que entre el siguiente tren.

Impulsos y reposos

A partir de las figuras 11-1 y 11-2 pueden establecerse dos observaciones importantes:

- *La duración de cada impulso es mucho menor que la del reposo.*
- *Los impulsos están agrupados en trenes.*

Estos tiempos sirven para adaptarse al comportamiento bioeléctrico de las fibras nerviosas, de la placa motora y del sarcolema. Se ajustan en milisegundos o microsegundos.

Trenes y pausas

A partir de las mismas figuras 11-1 y 11-2 pueden deducirse otras dos observaciones importantes:

- *La duración de cada tren tiende a ser menor que la pausa.*
- *Las pausas tienden a ser más largas que los trenes.*

El tren suele ser más corto que el descanso para evitar la fatiga y permitir la regeneración bioquímica. Se ajustan en segundos.

Rampas de los trenes

Si se vuelven a observar las figuras 11-1 y 11-2, podrán establecerse dos observaciones importantes:

- *Hay una rampa de subida del tren de gran importancia.*
- *Hay una rampa de bajada del tren de menor importancia.*

La utilidad de las rampas pretende evitar cambios bruscos en la tensión muscular que puedan generar roturas musculares. Lógicamente, la de entrada es más importante. Se ajustan en segundos o en porcentaje; por ejemplo, 20 %:60 %:20 %.

Farádicas

En sus orígenes, los trenes se conseguían con las corrientes farádicas del carrete de Ruhmkorff, artilugio eléctrico basado en dos embobinados a modo de transformador, de manera que sobre el primario se interrumpía la alimentación de forma repetitiva. Eso generaba ondas o picos positivos sobre el secundario (Fig. 11-3) con una pequeña onda de polaridad opuesta.

Después se desarrollaron circuitos electrónicos, por descarga de condensador, que conseguían impulsos de subida rápida y bajada progresiva, poco eficaces debido a la baja

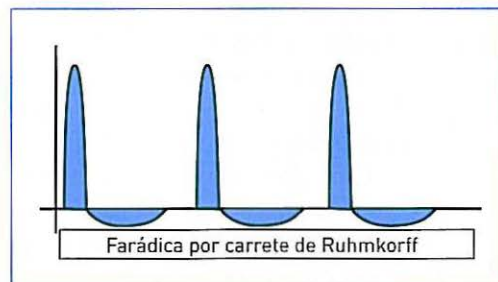


Figura 11-3. Ondas generadas por el carrete de Ruhmkorff.

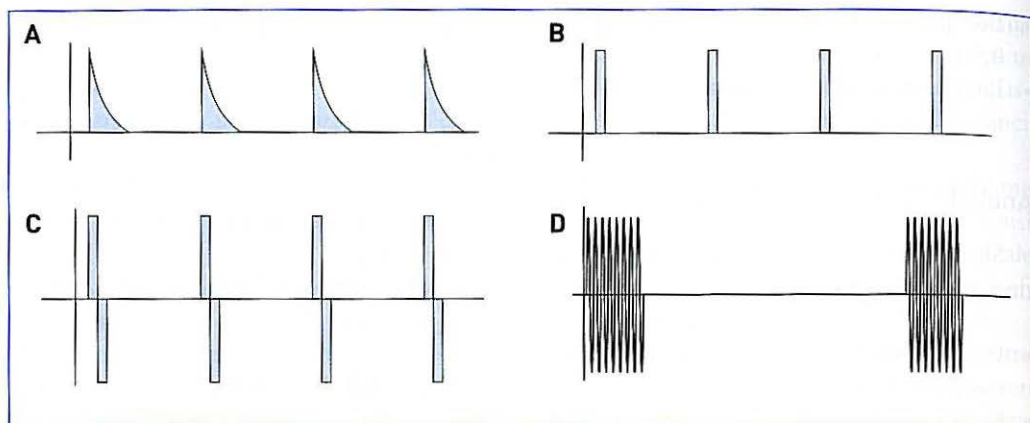


Figura 11-4. Distintas formas de onda usadas en los trenes para faradizar musculatura. A) Triangulares por descarga de condensador. B) Cuadrangulares monofásicos. C) Bifásicos de alto voltaje. D) Modulaciones de media frecuencia.

potencia alcanzada en la parte más alta del impulso (Fig. 11-4 A). Es conveniente recordar que potencia es el producto del voltaje por la intensidad; y en estos impulsos, en su parte más elevada, se consigue mucho voltaje, pero intensidad poco duradera y, en consecuencia, poca potencia, por lo que el resultado excitomotor se reduce de forma importante.

Estas deficiencias se han resuelto desde el momento en que los circuitos electrónicos permiten conseguir con perfección impulsos de forma cuadrangular que mantienen en el impulso el voltaje y la intensidad durante toda su forma y tiempo, aunque sean muy cortos, lo que ofrece resultados de mayor eficacia excitomotriz y excitosensitiva, además de versatilidad en el control preciso de la duración de los impulsos y de los reposos. En la actualidad, se han sustituido las de la figura 11-4 A por ondas semejantes a las representadas en la figura 11-4 B en corrientes farádicas. Además, se aplican las de la figura 11-4 C en alto voltaje y las de la figura 11-4 D en media frecuencia o de Kots. Considerando que estas representaciones son ondas de voltaje sobre carga resistiva óhmica pura.

Esta modalidad de farádicas con impulsos cuadrangulares y posibilidades para regular

por separado los tiempos de los impulsos y de los reposos, conduce a la denominación de *neofarádicas* aunque, desde el momento en que se emplearon impulsos por descarga de condensador, ya se les comenzó a denominar así. Sean como *farádicas* o como *neofarádicas*, lo importante es tener presentes las posibilidades de combinación entre la forma y los tiempos para adaptarse a cada necesidad en concreto.



Videos 11-1, 11-2 y 11-3. Pantalla farádica, Farádica y Neofarádica

En las últimas generaciones de estimuladores, se añade la posibilidad de aplicar pulsos con polaridad simple o doble, es decir, bifásicos (Fig. 11-4 C), ya que éstos son muy cortos, agradables sensitivamente, de neuroestimulación y son fáciles de conseguir en los equipos de estimulación portátiles y alimentados por baterías.

Se están aplicando mucho los trenes con modulaciones de media frecuencia (Fig. 11-4 D) que permiten importantes contracciones de amplias masas musculares con poca molestia. Son las corrientes de Kots. En estas, la expresión modulación también se sustituye por pulso, pero para evitar confusiones, debe man-

tenerse la de modulación, en cuya cuestión se profundizará más adelante.

Frecuencia de las farádicas

En principio, es habitual que las farádicas no trabajen con frecuencias sino con tiempo de pulso y de reposo, pero implícitamente está contenida la frecuencia. Al exponer las características de las farádicas, queda descrito con anterioridad que su frecuencia puede oscilar entre 10 y 200 Hz (varía mucho de unos equipos a otros). Ello está determinado por el respeto a la respuesta fisiológica del nervio y el músculo normales, y la combinación entre los tiempos de los impulsos con los tiempos de los reposos.

El músculo estriado normal (de fibra lenta) necesita 10 Hz para mantener su contracción sin interrupciones, aunque es vibratoria. Además, si se eleva de manera excesiva la frecuencia, se unirán tanto los pulsos que se acabará interfiriendo en el proceso de repolarización de la membrana (v. «Período refractario», más adelante).

La fórmula para hallar la frecuencia se presenta en la **figura 11-5**.

Si se combinan 0,1 ms de impulso con 5 ms de reposo, el período será de 5,1 ms. Así pues, $1.000/5,1 = 196$ Hz. A continuación se toman los valores más altos de la gama; se observa el otro extremo bajo de la banda: se tienen 10 ms de impulso más 100 ms de reposo. El período será de 110 ms y, en consecuencia, se dividirá $1.000/110 = 9,0$ Hz de frecuencia menor.

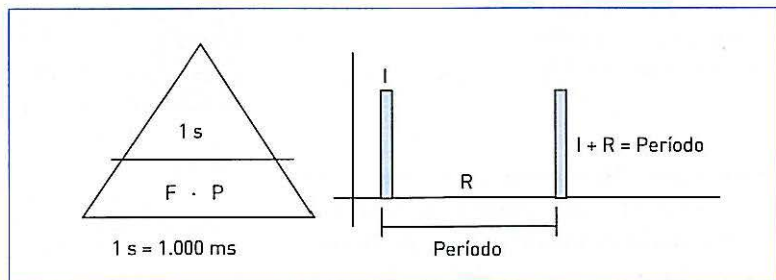
Es habitual escuchar y leer que 50 Hz es la frecuencia típica para las fibras lentas o que 80 Hz es la típica de las fibras rápidas. Ello obliga a entrar en el análisis de algunos fenómenos, comenzando por las razones que imponen que los reposos entre impulsos sean bastante más largos que los propios impulsos:

- Los tiempos de pulso se obtienen de los puntos útiles y del umbral de faradización de la curva cuadrangular o intensidad/tiempo (I/T).
- Los tiempos de reposo se leen en el ángulo de deflexión de la curva acomodación/tiempo (A/T).
- Los puntos útiles son parámetros específicos de cada persona, nervio, músculo explorado y estado del conjunto neuromuscular. Estos tiempos son más cortos que los del ángulo de deflexión.
- El ángulo de deflexión se desplaza más hacia la izquierda o hacia la derecha dependiendo del estado neuromuscular.
- Estos parámetros informan acerca del tipo de fibra nerviosa y muscular que posee el conjunto neuromuscular explorado o tratado.

Se están refiriendo frecuencias de normalidad, pero estos valores típicos se alargan si el conjunto neuromuscular padece algún proceso degenerativo o patológico.

Dado que es mejor orientar los parámetros por respuestas fisiológicas, en la corriente farádica debe trabajarse con tiempos de pulso y de

Figura 11-5. Fórmula para calcular frecuencia (F), periodo (P) y la unidad de tiempo (s). R: reposo.





Práctica experimental

Para comprender y experimentar la influencia de la frecuencia en la contracción muscular, se va a estudiar sobre un modelo, a modo de paciente, en que se realizará la aplicación que se detalla a continuación.

Se prepara al paciente simulado para estimularle el bíceps braquial mediante la fijación de dos electrodos pequeños en una colocación poco habitual, pero que sirve de manera simultánea para aprenderla.

Se fijan los electrodos tras situarlos de forma transversal uno al lado del otro, pero localizados sobre los puntos motores musculares de la porción larga y de la porción corta (Fig. 11-6), respectivamente.

Puesto que no se desea que predomine la contracción de uno sobre el otro, se intentará que la corriente sea bifásica consecutiva para eliminar el protagonismo del polo [-].

En el estimulador se elige una corriente farádica con trenes de varios segundos y reposos de varios segundos (es decir, 6-6) con rampa suave.

Dentro del tren se introduce la forma cuadrada si es posible, un tiempo de pulso de 1 ms (que no se modificará) y el reposo es el objetivo de esta prueba.

Se cambiará el reposo de forma sucesiva durante la prueba (si el aparato lo permite, no es necesario bajar la intensidad), palpando y observando la respuesta motora con 100 ms de reposo, con 70, 50, 30, 20 y 10 ms (Fig. 11-7).

Con unos valores se palpará contracción vibratoria; con otros, tetanización completa y, tal vez, es posible que alguna se note excesiva y el modelo pida que se le retire porque siente que se inicia un «calambre muscular».

Si se realizan cálculos de la frecuencia que se aplica en cada cambio, se obtendrá una idea clara de cuál es la frecuencia más óptima.

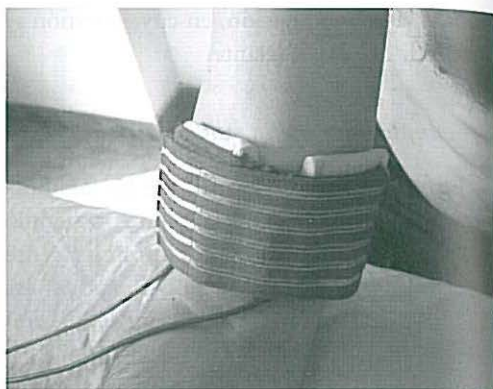


Figura 11-6. Fijación transversal de electrodos en el bíceps braquial, en los puntos motores de cada porción (larga y corta).

aportada en la curva I/T o cuadrangular, en la cual se reflejan tres parámetros básicos para la aplicación de faradización, a saber (Fig. 11-8),

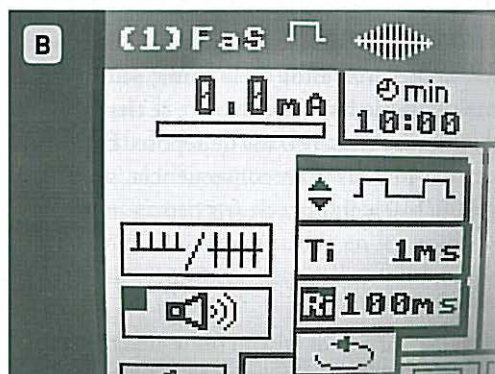
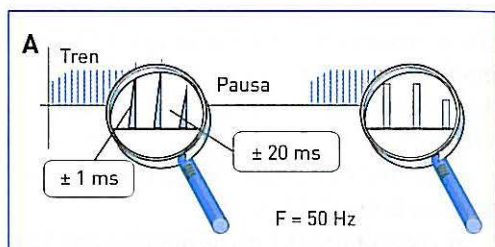
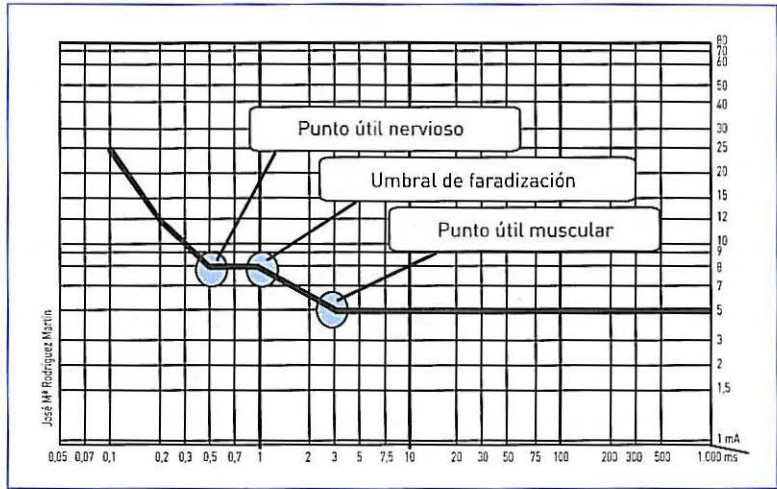


Figura 11-7. A) Dibujo de la farádica clásica con pulsos triangulares o cuadrangulares. B) Corriente farádica bifásica con pulsos cuadrados de 1 ms y reposos que se irán modificando entre 100 y 10 ms, dispuesta para la práctica que se sugiere. F: frecuencia.

reposo dentro de los trenes. La frecuencia en esta modalidad es una información secundaria.

Para elegir el mejor tiempo de impulso dentro del tren, se parte de la información

Figura 11-8. Curva cuadrangular típica de normalidad con los puntos útiles y el umbral de faradización para los tiempos de pulso en la corriente farádica.



el punto útil muscular, el punto útil nervioso y el vértice del escalón (umbral de faradización).

Si se pretende estimular la fibra muscular de forma directa, se usará el tiempo del punto útil muscular y los electrodos situados en modo bipolar aunque, en general, requerirá un retoque en el tiempo para no sobrepasar los 10 ms.

Si se desea estimular el nervio de forma directa, se utilizará el tiempo del punto útil nervioso y la colocación de electrodos en modalidad monopolar en el punto motor nervioso.

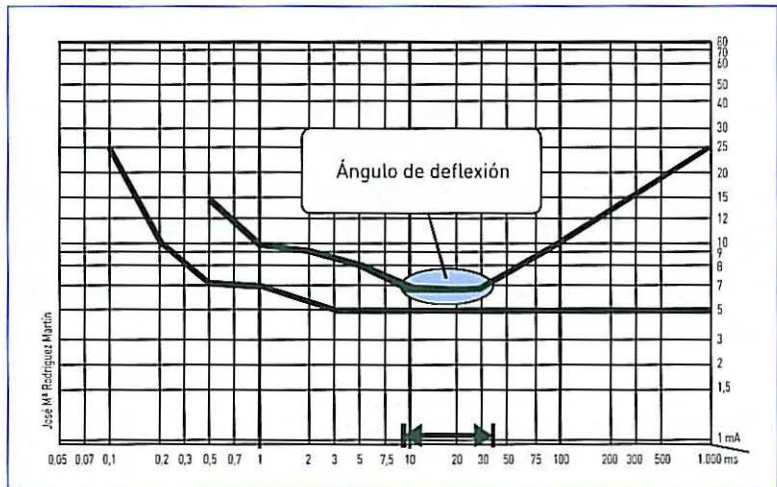
Si se intenta estimular nervio y músculo de manera simultánea, se empleará el tiempo

señalado por el vértice del escalón y la colocación en modalidad monopolar en la placa motora.

Debe recordarse que el punto o tiempo de faradización se ha establecido en la vertical de 1 ms, pues la estadística en respuestas de conjuntos normales ofrece como media que el vértice del escalón se localice entre 1 y 2 ms.

El tiempo de reposo se refleja en la curva A/T (Fig. 11-9), localizado en concreto en el *ángulo de deflexión*. Éste suele tomar la forma de un valle, en la mayoría de los casos, más que una angulación, lo que indica varios tiempos

Figura 11-9. Curva triangular con un ángulo de deflexión entre 10 y 30 ms.



como los mejores, con los cuales se respetaría la repolarización de membrana (v. «Observaciones sobre el ángulo de deflexión», en el cap. 10).

Los tiempos cortos (situados a la izquierda del valle) se emplearán para fibra rápida y nervio mientras que los tiempos largos del ángulo de deflexión (situados a la derecha del valle) serán los reposos para formar los trenes que estimularán la fibra muscular lenta.

Según el punto de vista estadístico y de experiencia, las fibras nerviosas motoras normales poseen un período refractario o de reposo de unos 10 ms; las fibras musculares *rápidas* (como se describe con anterioridad) poseen un ciclo electroquímico de unos 12 ms, las medias alrededor de 15 ms y las lentas hacia los 20 ms. Estos valores (considerados medios y estándar) en la realidad suelen ser diferentes en cada caso, momento y paciente. Para conocerlos con concreción, se requiere realizar las curvas (o parte de las curvas) hasta que se marquen los puntos útiles y el ángulo de deflexión.

Es frecuente hallar que algunos deportistas pueden reflejar ángulos de deflexión desplazados a la izquierda en la gráfica de manera que tocan la vertical de 5 ms, o por otra parte, personas sedentarias cuyo ángulo de deflexión se ha desplazado a la derecha hasta tocar la vertical de los 50 ms o más.

Según las figuras 11-8 y 11-9, las mejores opciones para formar una corriente farádica

(sin detallar tiempo del tren ni de pausa) con pulsos y reposos dentro del tren serían las que se presentan en la tabla 11-2.

Trenes de alto voltaje

Las corrientes y los trenes de alto voltaje reciben esta denominación porque los pulsos son muy estrechos (*de 0,1 a 0,5 ms*) y pierden efecto excitomotor, que se tiene que compensar con la altura del pulso. La altura del pulso en un osciloscopio, en general, es el voltaje (aunque los fisioterapeutas la denominan intensidad) y algunos valores pueden situarse bastante por encima de lo habitual o «alto voltaje» porque, incluso cuando las ondas son de intensidad, el osciloscopio las representa, ya que de forma previa se han convertido en voltaje (Fig. 11-10).

Dado que estos pulsos son tan cortos, no invaden el punto útil muscular ni el umbral de faradización; sólo tocan el punto útil nervioso y la cronaxia. Por ello se las considera corrientes de neuroestimulación. Se propone que sean bifásicos consecutivos y cuadrangulares aunque perfectamente pueden aplicarse de forma monopolar. Son las corrientes usadas en los estimuladores portátiles o aparatos de EMS.

Estos trenes no son aplicables en procesos con cierto nivel de patología porque, si las curvas se desplazaron hacia arriba y hacia la derecha de forma importante, la anchura de estos pulsos no conseguirán estimular dicho con-

Tabla 11-2. Valores medios en tiempos de pulso, de reposo y fijación de electrodos más habituales para estimular con la farádica en fibra normal

Tipo de fibra	Pulso (en ms)	Reposo (en ms)	Fijación de electrodos
Fibra lenta	3	30	Bipolar sobre músculo
Fibra media	1	20	Monopolar en punto motor muscular
Fibra rápida	1	15	Monopolar en punto motor nervioso
Nervio motor	0,5	10	Monopolar en punto motor nervioso

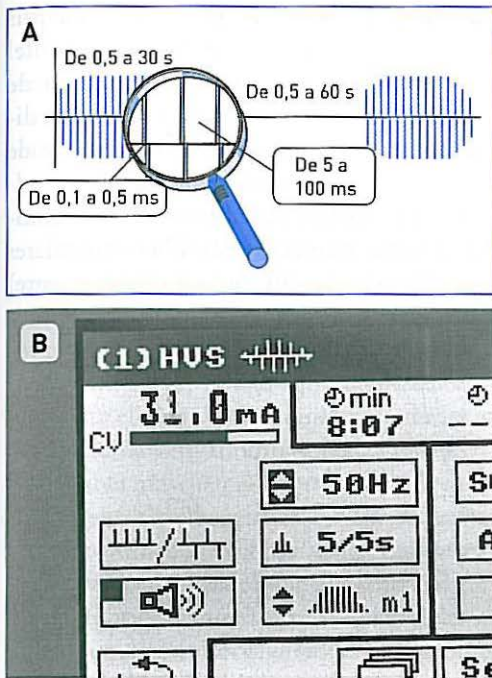


Figura 11-10. A) Resumen de las características de los trenes de alto voltaje. B) La corriente suele aplicarse en modo bifásico y en voltaje constante (VC).

junto neuromuscular. Un ejemplo cotidiano de esta circunstancia se puede observar con cierta frecuencia cuando se intenta estimular un grupo muscular y responde otro diferente, como en el caso bastante habitual en que el intento de estimulación de extensores de muñeca y dedos fracasa, pero responden los flexores de muñeca y de los dedos. Para resolver estas situaciones, debe acudir a las corrientes farádicas con tiempos de pulso ajustables en una gama mucho más amplia.



Vídeo 11-4. Trenes de alto voltaje

Trenes de media frecuencia

Los trenes de media frecuencia se denominan así porque están formados por una corriente portadora en la banda de media frecuencia (de 2.000 a 10.000 Hz) que se

interrumpe o modula para generar pequeñas ráfagas (modulaciones) que actúan como los pulsos de baja frecuencia.

Esta corriente tiene su propia frecuencia de modulación en la banda de baja frecuencia (entre 10 y 100 Hz), la cual produce el trabajo muscular que se pretende. La portadora de fondo es alterna y permite que la corriente entre con facilidad en el paciente con poco nivel de estímulo sensitivo y reducida capacidad de molestia (Fig. 11-11).

La corriente clásica de esta modalidad es la de Kots (también denominada corriente rusa) formada por una portadora de 2.500 Hz, frecuencia de modulación ajustable entre 10 y 100 Hz, forma de modulación cuadrada y tiempo de modulación ajustable entre 2 y 10 ms.

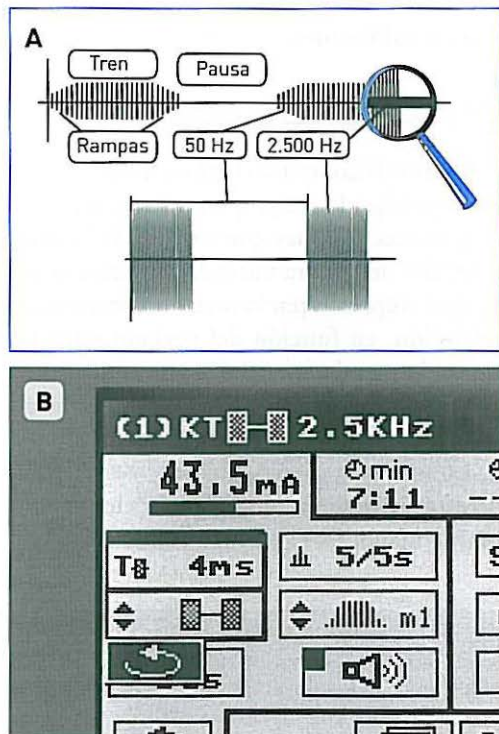


Figura 11-11. A) Esquema de la corriente de Kots a 50 Hz de modulación con portadora de 2.500 Hz. B) Imagen de una pantalla con la corriente de Kots con modulaciones cuadradas de 4 ms y trenes de 5 s con pausas de 5 s.



Videos 11-5, 11-6 y 11-7. Pantalla de corriente de Kots, Trenes de Kots y Modulación triangular en Kots

Estas corrientes no se consideran de neuroestimulación, por lo que en general se orientan hacia un estímulo de la placa motora (sinapsis neuromuscular) y hacia la fibra muscular. Estas corrientes se han destinado a grandes potenciaciones musculares, dado el bajo nivel de molestia y su permisividad para aplicar altas intensidades, así como su poder de penetración en la profundidad muscular (Tabla 11-1). Tampoco tienen polaridad y se pierde el efecto predominante del cátodo o [-]. Si se pretende que un electrodo actúe como activo y otro como indiferente, se conseguirá con el tamaño (el pequeño será el activo y el grande, el punto masa o indiferente).

TIPOS DE FIBRAS MUSCULARES

Pueden encontrarse clasificaciones diferentes dependiendo del grupo profesional al cual se pertenece. Así, hay quien enfoca la lentitud o rapidez de la fibra muscular en función del tiempo empleado por la onda de contracción-relajación, en función del período refractario en la membrana celular y en función de la prontitud o lentitud al iniciar un esfuerzo muscular.

Los fisioterapeutas, como adaptación de esta parte de la biología a la electroterapia, se fijarán en el período refractario de la

membrana celular del nervio, de la sinapsis neuromuscular y de la despolarización del sarcolema muscular, aunque el tiempo de contracción mecánica presenta relaciones directamente proporcionales con el sistema de repolarización de membrana.

Tras una somera introducción sobre el comportamiento contráctil de las fibras musculares no denervadas, se diferenciarán (básicamente) tres clases:

- *lentas o rojas* (tipo I),
- *medias rojas* (tipo II a) y
- *rápidas o blancas* (tipo II b).

Las medias rojas (tipo II a) suelen clasificarse entre las rápidas, pero disponen de muchas propiedades de las lentas. Esta clasificación es interesante frente a la estimulación eléctrica por su período refractario, su tiempo de respuesta contráctil y su capacidad de fatiga muscular. No obstante, pueden hallarse clasificaciones más amplias que añaden las II c, las II d y, tal vez, alguna más en discusión.

Cada una de ellas y sus agrupaciones en fascículos musculares se van a especializar en un tipo de trabajo muscular determinado, aunque en realidad depende de proporciones, con predominio de unas sobre otras en porcentajes que pueden resumirse en la tabla 11-3.

Esta clasificación se utiliza sólo en estados normales de las fibras musculares, pero dado que los procesos patológicos alteran la velocidad de respuesta contráctil, tanto directa del músculo como la provocada por el nervio que

Tabla 11-3. Predominio del tipo de fibras en porcentajes según el hábito de esfuerzo			
Tipo de fibras	Individuos no deportistas (%)	Deportistas de fibra lenta (%)	Deportistas de fibra rápida (%)
Tipo I	40	60	40
Tipo II a	50	40	20
Tipo II b	10	10	40

inerva la placa motora, se encontrarán situaciones en que estos valores de referencia se alteran de forma importante, y que se intentarán devolver a la normalidad con estas técnicas. Es interesante que los fisioterapeutas practiquen las curvas I/T-A/T porque en ellas se detectan estas proporciones de la [tabla 11-3](#).

Para las explicaciones de este fenómeno, se suelen tomar como referencia las fibras lentas de un músculo sano normal. La fibra muscular no es otra cosa que la *célula muscular* con su capacidad o especialización de cambiar el tamaño tras acortarse de forma longitudinal.

La fibra muscular está formada por la membrana (sarcolema), el citoplasma y su núcleo, pero se prestará atención a la membrana como objetivo de estudio, ya que en su cara interna se encuentra carga eléctrica (*negativa*) debido a la composición iónica, en tanto que por la parte externa y también por distinta composición iónica existe carga *positiva*.

Por consiguiente, su desequilibrio eléctrico o polarización puede alcanzar hasta -100 mV, polarización de membrana que en el momento

de despolarizarse desencadenará reacciones e intercambios químicos que obligarán a la fibra muscular a contraerse.

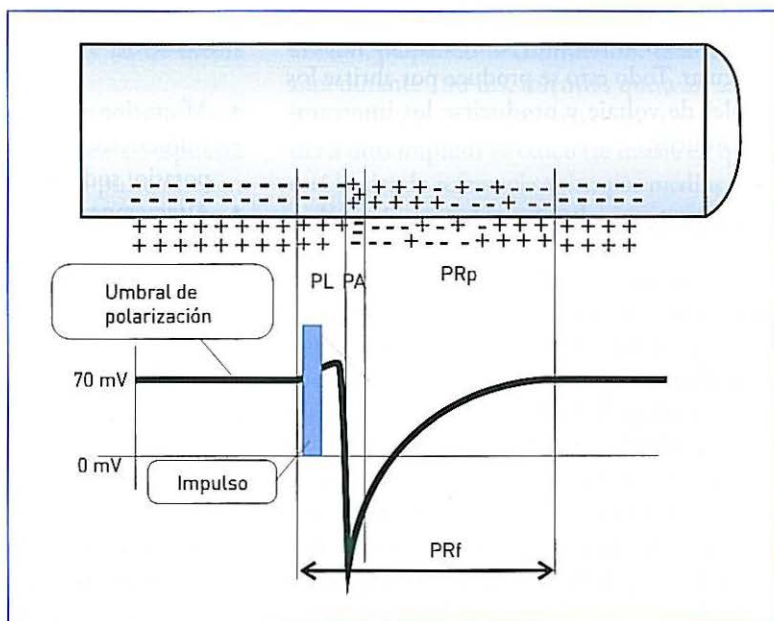
Estas reacciones electroquímicas requieren un tiempo determinado para realizarse en su ciclo completo desde el momento en que se aplica un impulso eléctrico (bien por vía nerviosa bien por vía de electroestimulación) hasta que se recupera la polarización eléctrica de la membrana ([Fig. 11-12](#)). Se está haciendo referencia al período refractario.

Tiempo de reposo entre impulsos dentro del tren

Dicho *período refractario completo* o tiempo total, para fibras lentas, está establecido alrededor de los 20-30 ms de media, desglosado de la siguiente forma:

- *Período de latencia* (PL) = ± 5 ms.
- *Período activo* (PA) = ± 1 ms.
- *Período de repolarización* (PRp) = $\pm 15-20$ ms.

Figura 11-12. Período refractario (PRf) con la despolarización y repolarización (PRp) que provoca un pulso rectangular. PA: período activo; PL: período de latencia.



El tiempo total de respuesta bioeléctrica para fibras muy rápidas puede ser de 4 a 5 ms, como sigue:

- *Período de latencia* (PL) = $\pm 0,5$ ms.
- *Período activo* (PA) = $\pm 0,5$ ms o menos.
- *Período de repolarización* (PRp) = ± 4 ms.

Período de latencia

Es el tiempo que necesita el impulso aplicado (se considera la forma cuadrangular) en provocar la ruptura del umbral de polarización, tiempo empleado en movilizar iones de la zona hasta conseguir que la membrana se vuelva permeable de forma iónica. Si esto es así, de forma brusca se producirán las reacciones químicas que desencadenarán la contracción mecánica. Cuando el fisioterapeuta se encuentra frente a procesos patológicos que alteran la bioquímica de la zona, este proceso se retrasa.

Período activo

Es el momento de apertura o despolarización de los conductos de membrana, en el cual se desencadena la respuesta de generar pulsos eléctricos en el nervio y contráctil de la fibra muscular. Todo esto se produce por abrirse los canales de voltaje y producirse los intercambios iónicos.

Período de repolarización

Una vez que se ha desencadenado el proceso de contracción, la fibra entra en un período de recuperación electroquímica mientras que mecánicamente continúa contraída, momento en que trabaja la bomba de sodio y potasio para devolverla a su polarización inicial. Al final de este tiempo, el conjunto neuromuscular se encuentra preparado para ser estimulado otra vez con nueva respuesta de contracción normal y completa. Si se aplica otro impulso antes de finalizar el proceso bioeléctrico, la

fibra no presentará respuesta contráctil completa, pues se encuentra en el llamado *período refractario relativo*.

Período refractario

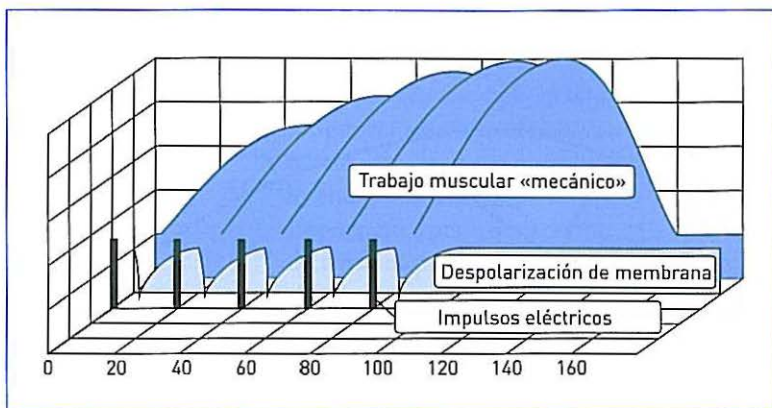
Es la suma de tiempos correspondientes a los tres períodos, establecido, en este caso de fibras lentas, en unos 20-30 ms. Este período debe respetarse sin estimulación eléctrica.

Llegado a este punto, puede comprenderse el porqué de los reposos de unos 20 ms que separan a impulsos de 1 ms, contenidos en los trenes de faradización normalizados por los aparatos convencionales de electroestimulación, es decir, *se esperarán 20 ms para permitir a la fibra muscular que complete su ciclo electroquímico y que se halle dispuesta para recibir otro estímulo que desencadene la misma respuesta de contracción*.

Los valores adecuados para ajustar como tiempo de reposo dentro del tren se hallan en el ángulo de deflexión de la curva A/T. Estos tiempos (en este caso referidos a modo de ejemplo) son los considerados medios y normales en la fibra lenta, pero pueden alterarse en cualquiera de sus tres tramos por múltiples razones:

- Afectaciones neurológicas.
- Influencias de fármacos que incidan en el potasio, sodio y calcio.
- Alteraciones metabólicas.
- Alteraciones de aporte nutritivo o insuficiencia circulatoria.
- Intoxicaciones.
- Nivel de entrenamiento.
- Grado de fatiga.
- Alteraciones hormonales.
- Tipo de fibra más abundante del músculo en estudio.
- Todas aquellas que puedan influir en la composición iónica o movilidad de los iones en la proximidad y dentro de la membrana de la fibra muscular, etcétera.

Figura 11-13. Proceso de contracción muscular sumatoria provocada por pulsos aplicados de forma transcutánea que respetan el período refractario. Cada 20 ms se envía un pulso. Cada 20 ms se repolariza la membrana. Cada 100 ms se produce la onda de contracción mecánica.



Tiempo de impulso dentro del tren

Ya se ha detallado con anterioridad que los tiempos del pulso se toman de los dos puntos útiles y del umbral de faradización. La corriente farádica permite todo el juego con dichos puntos de referencia, pero para los trenes de alto voltaje sólo se dispone del valor del punto útil nervioso, y en la corriente de Kots, sólo se dispone del punto útil muscular. La farádica modificable es la más versátil y la más eficaz frente a un proceso patológico, pero suele tener la desventaja de que resulta más molesta que las de alto voltaje y las de media frecuencia.

Cada pulso desencadena la correspondiente despolarización y su consiguiente respuesta contráctil. Sin embargo, si los pulsos tienen que respetar el período refractario, las respuestas motoras se pueden superponer y «atropellarse» unas a otras. Esta respuesta sumativa de la contracción mecánica se produce porque los tiempos de contracción-relajación son bastante más largos que los tiempos del período refractario (Fig. 11-13) de la membrana. Esta circunstancia biológica permite que la contracción sea homogénea, continuada y modulable. Como se ha expuesto en una práctica anterior, si los pulsos se separan mucho, la respuesta es temblorosa, pero si se unen demasiado, se genera fatiga y tendencia al calambre muscular.

Por todo ello, con referencia al tiempo que necesita una fibra para su recuperación electroquímica (entre 10 y 30 ms), no se produce la contracción vibratoria, ya que no coinciden los tiempos del *ciclo electroquímico* con los del *ciclo de contracción mecánica*.

Cada fibra muscular tiene una onda de contracción, alcanza el máximo y vuelve a relajarse con su tiempo específico, de manera que las fibras de tipo I pueden llegar a 100 ms, las de tipo II a, de 30 a 50 ms, y las de tipo II b de 4 a 15 ms (Fig. 11-14).

Si se somete una fibra lenta a un impulso aislado, palpando la contracción, ésta se realizará durante 100 ms, mientras que a los 20 ms la membrana ya estará preparada para responder a otro impulso eléctrico (se insiste en que se está haciendo referencia a tiempos medios, pues cada conjunto neuromuscular mostrará los suyos específicos en cada momento y situación).

Este tiempo de contracción o acortamiento de las fibras musculares lentas (100 ms) se divide en dos períodos consecutivos: *tiempo de contracción* (± 40 ms) y *tiempo de relajación* (± 60 ms).

Si se sometiera a estas contracciones con pulsos aislados (una única respuesta mecánica) a un análisis con tensiomiografía computarizada podría detallarse en una gráfica la onda de contracción-relajación de cada caso y músculo (v. «Tensiomiografía», en el cap. 10).

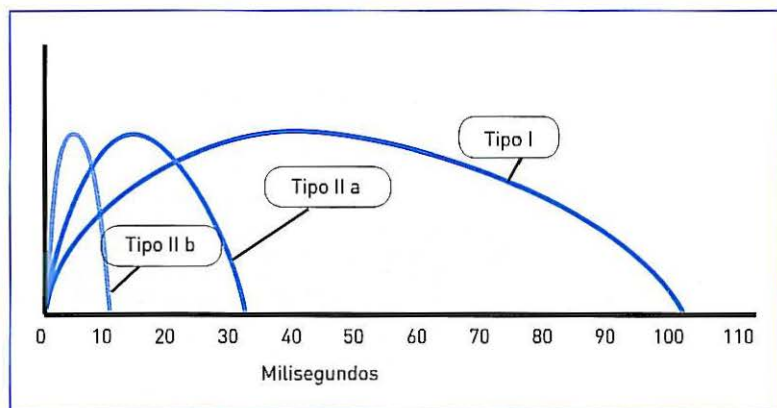


Figura 11-14. Contracción mecánica de tres tipos de fibras musculares y sus tiempos de contracción-relajación.

De nuevo en relación con la faradización clásica, si los impulsos se aplican con una separación de 100 ms, cada impulso conseguirá un nivel de contracción semejante.

Sin embargo, si los impulsos se acercan entre sí de acuerdo con el período refractario (en este caso, unos 20 ms), el primero iniciará la contracción y los siguientes provocarán un efecto sumativo sobre el nivel alcanzado por los anteriores.

Esta sucesión de pulsos y reposos no debe mantenerse durante toda la sesión, pues el conjunto neuromuscular entraría en una situación de agotamiento y fatiga, con la consiguiente lesión en su estructura anatómica, circunstancia que obliga a practicar interrupciones cada cierto número de segundos (pausas) de igual o mayor tiempo que el tren con objeto de permitirle descanso y de no agotar las reservas energéticas. Estos conceptos se repiten a lo largo del capítulo porque es fundamental comprender el comportamiento del conjunto neuromuscular.

Tiempo del tren

El tiempo que se mantiene contraído un músculo o grupo muscular (tiempo del tren) depende mucho de los objetivos buscados y del

estado del paciente. Puede cambiar la situación de un paciente anciano o gran encamado, para iniciar una tonificación o propiocepción muscular, comparada con los intentos de potenciación en un deportista de élite durante la última etapa de su recuperación. En el primer caso, tal vez 2 o 3 s de trabajo sean buenos, seguidos de descansos (pausas) de 4 o 5 s, mientras que en el deportista podrían aplicarse trenes de 15 o 20 s entre pausas más o menos prolongadas en función de la metodología potenciadora.

A un *conjunto neuromuscular débil* no se le puede exigir contracción fuerte, mucho tiempo de contracción ni poco descanso. Un *conjunto neuromuscular sano y entrenado* permite grandes contracciones, mucho tiempo de trabajo y no demasiado tiempo de descanso.

Tiempo de pausa entre trenes

Al igual que, como se ha descrito con anterioridad, los tiempos de restablecimiento biológico se alteran con afecciones patológicas, en concordancia con el tiempo de trabajo, el *tiempo de restauración energética o pausa* se alarga. Por ejemplo, si a un paciente con fuerte atrofia muscular se le aplican 5 s de tren, la pausa sería el doble (unos 10 s). Si se está entrenando a un deportista y se le aplican 15 s de trabajo o de tren, la pausa puede ser de 15 a 20 s. Por lo general se considera que los tiem-

pos de pausa deben ser iguales o mayores a los del tiempo del tren o trabajo. No obstante, en este asunto la bibliografía presenta grandes variables y variantes.

Refuerzo sonoro de la estimulación con trenes

La aplicación secuenciada de corrientes debe reforzarse con información sonora desde que se inicia el tren hasta su final para mejor concienciación del trabajo muscular o del esfuerzo muscular activo en caso de que el paciente tuviera programado refuerzo con trabajo voluntario. Los equipos suelen disponer (deben disponer) de una opción para activar el sonido o dejarlo sin sonido.

Aplicación intencionada

Otra opción muy importante es la posibilidad de que las secuencias de los trenes no estén programadas con tiempos concretos para dar la libertad al paciente o al terapeuta de que regulen a voluntad el tiempo de contracción y el tiempo de descanso muscular. Esta posibilidad debe ser por completo libre y no debe iniciar una cadencia programada previamente. Ello se soluciona con un pulsador que activa la aplicación de la corriente o la detiene según las cadencias marcadas por quien controla el pulsador y su entrenamiento voluntario (Fig. 11-15).

Rampa

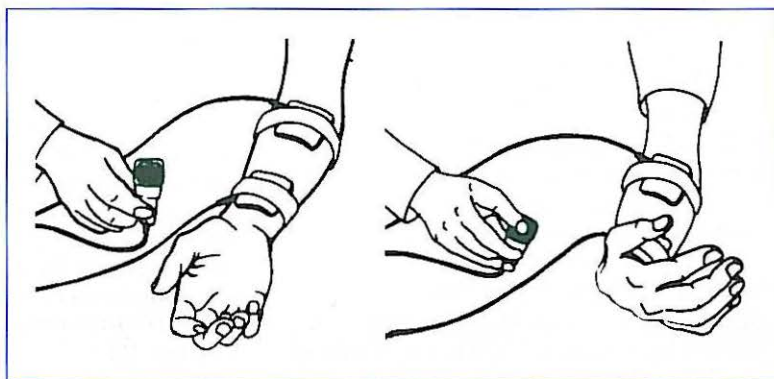
La entrada del tren en el paciente debe ser progresiva y no brusca (salvo en algunos casos) para evitar tirones y posibles lesiones musculotendinosas. La rampa de salida ya no es tan importante, pero, para evitar caídas bruscas de tensión, provocada por las fuertes contracciones musculares, deben ajustarse rampas de bajada suaves:

- Cuando los trenes son cortos (1 s) y las pausas cortas (1 s), con poca contracción y se destinan a relajación, la rampa puede ser 0 o mínima.
- Cuando los trenes son bastante largos (p. ej., 8 s) y la pausa de unos 10 s, contracción importante y se pretende fortalecer a un grupo muscular, la entrada o rampa será suave (p. ej., entre 1 y 1,5 s) para evitar daños y la salida como de 1 s.
- En el caso de técnicas para potenciación intensa, la rampa de subida será de 2 s o más y la de salida estará entre 1 y 2 s.

En caso de cierto nivel de patología

Si los tiempos habituales, al realizar una exploración con curvas I/T-A/T, se alteraron en exceso y se observa que no aparece respuesta a los trenes, se estará obligado a aplicar impulsos aislados (quizá triangulares); esto ocurrirá, so-

Figura 11-15. Pulsador de aplicación intencionada para controlar manualmente el tiempo de tren y el tiempo de pausa.



bre todo, en denervaciones parciales. Este tipo de enlentecimientos se producen por alteraciones del nervio periférico, en alteraciones de la placa motora y toda una serie de deficiencias metabólicas, como músculos en desuso y atrofiados. En cambio, cuando las alteraciones son por parálisis central y están acompañadas de espasticidad, clonus o ataxia se acortan los tiempos, porque el arco reflejo está conservado

y abandonado del control coordinador e inhibitorio de la corteza. Si en estos casos se aplicara electroestimulación neuromuscular con farádicas, se acentuarían dichos procesos que por sí solos ya causan invalidez.

Tal vez en el caso de una parálisis central de tipo flácido pudiera aconsejarse faradización (previa exploración con una *curva I/T*) para intentar despertar los reflejos tendinosos (circuito



Práctica experimental

Se prepara un modelo, preferiblemente que no sea joven, que manifieste atrofas musculares en antebrazos o alguien con una tendencia biomecánica con los pies en inversión y flexión plantar, es decir, alguien en quien se aprecie cierta atrofia de extensores de la muñeca o de extensores y eversores del tobillo. Personas ya entradas en la tercera edad serían buenos modelos.

Se llevará a cabo una aplicación bipolar sobre extensores de la muñeca y los dedos o sobre extensores y eversores del tobillo en el punto de las dos localizaciones que se considere oportuno. En cualquiera de los ejemplos se inicia con el [-] en sentido distal.

Se prepara el estimulador para que emita la corriente farádica clásica, monopolar, de 1 ms de pulso, 20 ms de reposo, forma cuadrada, trenes de unos 5 s, pausas de unos 5 s y rampa moderada.

Se eleva la intensidad hasta conseguir una respuesta motora involuntaria que mueva la muñeca y los dedos de forma clara.

Posiblemente aparecerá la respuesta de los flexores en lugar de los extensores (o muy mezclados). Si esto no ocurriera, el experimento no sería válido.

Si apareció la respuesta no debida, se continúa adelante con el experimento y lo primero es realizar un cambio de polaridad para comprobar si los resultados han variado. De no ser así, se iniciará un proceso de modificaciones en la corriente que se detallan a continuación.

Dentro del tren, se modifica la forma de cuadrada a triangular; se aumenta el tiempo de

pulso de 1 a 3 ms; se aumenta el tiempo de reposo de 20 a 30 ms y se eleva de nuevo la intensidad para comprobar los resultados.

Si todavía no responden los que se pretenden estimular, se aumenta el tiempo de pulso a 5 ms y el reposo a 40 ms; se reajusta la intensidad y se comprueba.

Si el padecimiento del modelo no es importante, posiblemente ya se apreciarán respuestas interesantes y cambios hacia la musculatura extensora. Si todavía no aparecen las contracciones esperadas, ello indica que la persona padece un problema más importante de lo esperado y se debe continuar modificando parámetros.

Se está tanteando porque el fisioterapeuta imagina que el problema consiste en un enlentecimiento de todos los parámetros, pero es posible que en unos más que en otros. Para dejar de tantear a ciegas, procede trazar las curvas correspondientes a cada músculo problemático con electrodo en punto motor muscular.

Si la situación se complica, por ejemplo, en la pierna, con electrodo puntual, se busca el punto motor del peroneo lateral largo o del corto, o del extensor común de los dedos (mejor de cada uno de ellos de forma independiente) y se trazan sus curvas I/T-A/T. Con la información obtenida, ya podrá diseñarse con valores concretos y selectivos la corriente farádica que conseguirá lo que se busca. Si las curvas se trazan de manera que no alcanzan 10 ms, el problema es muy serio y requiere un enfoque de parálisis parcial periférica (v. «Tratamiento de parálisis periférica», en el cap. 10).

α - γ) y llegar a causar cierto nivel de espasticidad, lo que le obligaría al fisioterapeuta a interrumpir el tratamiento en cuanto se apreciaran los primeros signos de los objetivos propuestos.

Con cierta frecuencia, el fisioterapeuta se encuentra frente a la situación de respuesta de otros músculos diferentes de los que pretende tratar sin saber bien qué hacer. Suele ocurrir en los extensores de la muñeca, cuando responden los flexores; en los extensores y eversores del pie, cuando aparecen los flexores e inversores; en las fibras oblicuas del vasto interno del cuádriceps, cuando responden las longitudinales, etc. Para comprender cómo puede resolverse este problema, se recomienda realizar la práctica que se detalla a continuación.

TRATAMIENTOS CON FARÁDICAS

Las bases fundamentales que van a regir para elegir los tiempos de impulso y reposo están determinadas por el tipo de fibra muscular o nerviosa que compone el músculo o el nervio al cual se le aplica, ya que una fibra rápida requiere impulsos cortos ($\pm 0,5$ ms) y reposos cortos (± 10 ms). Las lentas requieren impulsos largos (± 2 ms) y reposos largos (± 20 ms). Las medias requieren intermedios. Siempre se hace referencia a musculatura o nervios normales.

Además de lo expuesto en la [tabla 11-4](#), existen más diferencias entre ambos tipos de fibras musculares:

- Cuando los músculos están sometidos a alteraciones funcionales, los de fibra lenta o estáticos tienden a degenerar y se acortan. Sin embargo, los de fibra rápida o dinámicos degeneran y se alargan.
- Dentro de unos límites, los músculos se pueden entrenar y especializar en trabajos propios de fibras lentas o rápidas.
- Se ha observado que, cuando la neurona motora α del músculo se halla sometida a irritación, el músculo pierde porcentaje de fibras rápidas.

- En otros estudios, también se ha podido constatar que en las escoliosis «idiopáticas» aparece distinta proporción de fibras en los músculos simétricos y contralaterales, de manera que en el lado de la concavidad abundan más las fibras lentas que en el lado de la convexidad.

Estas cuestiones deben tenerse en cuenta cuando se practique recuperación funcional a los pacientes de las distintas zonas, miembros o grupos musculares mientras se condiciona la faradización empleada al tipo de músculo, los objetivos que se desean de dicho músculo, la situación patológica y la adaptación al tipo de persona en cuanto a su abundancia o porcentajes de fibras lentas, medias o rápidas.

En la [tabla 11-4](#) se muestran las características más sobresalientes de unas y otras.

En la [tabla 11-5](#), se presentan algunos músculos, así como su clasificación en estáticos y dinámicos.

Cuestiones generales que deben considerarse con la faradización

La duración y la forma del impulso están afectadas o determinadas por el tipo de aplicación o el grado de afectación patológica, de manera que, si se encuentran músculos con procesos patológicos, las curvas I/T-A/T o I/F ofrecerán los parámetros adecuados para aplicar faradización, en lugar de los valores medios estándares antes referidos.

También deben tenerse en cuenta algunas precauciones importantes:

- Si la frecuencia es muy alta (tiempos de reposo cortos) y la intensidad elevada, se correrá el riesgo de tetanizar el músculo con el consiguiente peligro de causar dislaceraciones y roturas musculares.
- Si la frecuencia se ajusta a las fibras rápidas (entre 80 y 100 Hz), las lentas se saturarán enseguida por invadir su período refracta-

Tabla 11-4. Diferencias entre los distintos tipos de fibras musculares

Fibras I (lentas)	Fibras II a (medias)	Fibras II b (rápidas)
Reciben el nombre de rojas por tener más mioglobina que las rápidas	Son rojas, como las lentas	Reciben el nombre de blancas por no tener mioglobina
Son de menor grosor que las rápidas	Son de un grosor medio	Son hasta el doble de gruesas que las lentas
Desarrollan menor fuerza que las rápidas	Desarrollan más fuerza que las lentas	Desarrollan hasta el doble de fuerza que las lentas
Tiempo de contracción mecánica largo: unos 100 ms	Tiempo de contracción mecánica medio: 30-40 ms	Tiempo de contracción mecánica corto: 5-15 ms
Tiempo de respuesta bioeléctrica: 20 ms	Tiempo de respuesta bioeléctrica: 15 ms	Tiempo de respuesta bioeléctrica: 12 ms
Impulsos: 2-5 ms	Impulsos: 1-2 ms	Impulsos: <1 ms
Frecuencia de trenes: 50 Hz	Frecuencia de trenes: 65 Hz	Frecuencia de trenes: 80 Hz
Trenes cortos y moderados: menos de 10 s	Trenes medios y fuertes: 10-15 s	Trenes largos e intensos: 15-20 s
Umbral o nivel de polarización bajo	Nivel de polarización medio	Nivel de polarización alto
Consumo energético aeróbico con residuo de ácido láctico	Consumo energético aeróbico	Consumo energético anaeróbico
Poca fuerza y buena resistencia a la fatiga	Buena fuerza y buena resistencia a la fatiga	Mucha fuerza y poca resistencia a la fatiga
Predomina en la musculatura de la estática	Predomina en personas activas no deportistas	Predomina en la musculatura dinámica
En un esfuerzo muscular mantienen la tensión muscular	En un esfuerzo muscular son las primeras en trabajar	En un esfuerzo muscular se contraen después de las medias
En ejercicio mantenido con poco esfuerzo trabaja la fibra lenta	En ejercicio moderado es la que más trabaja	En ejercicio con gran esfuerzo y con descanso trabaja la rápida
En el mantenimiento de la postura trabaja la fibra lenta	En corredores de maratón y ciclistas trabaja la fibra media	En deportistas que practican la halterofilia, corredores de 100 m y saltadores predomina la fibra rápida
El banco de Colson con poco lastre y largos tiempos; trabaja la fibra lenta	Potenciación moderada con técnicas de D'Elorme; trabaja la fibra media	Potenciación intensa con técnicas de D'Elorme; trabaja la fibra rápida
Ejercicios isocinéticos lentos y resistencia moderada; trabaja la fibra lenta	Ejercicios isocinéticos rápidos y resistencia fuerte; trabaja la fibra media	Ejercicios isocinéticos muy rápidos y gran resistencia; trabaja la fibra rápida

Tabla 11-5. Algunos músculos clasificados según el tipo de fibra predominante

Músculos de la estática	Músculos de la dinámica
Tronco	
• Paravertebrales de la región lumbar y cervical • Cuadrado de los lomos • Escalenos	• Paravertebrales de la región torácica media que poseen un componente transversal y oblicuo
Cintura escapular	
• Pectoral mayor • Angular del omóplato • Fascículos descendentes del trapecio • Supraespinoso • Deltoides anterior y posterior • Cabezas corta y larga del bíceps braquial	• Romboides • Fascículo ascendente y horizontal del trapecio • Fascículos abdominales del pectoral mayor • Deltoides medio • Tríceps braquial
Miembros inferiores	
• Bíceps crural • Semimembranoso y semitendinoso • Psoas ilíaco • Recto anterior • Tensor de la fascia lata • Aductores • Recto interno • Piramidal de la pelvis • Sóleo • Flexores plantares • Glúteo medio	• Vastos interno y externo del cuádriceps • Glúteo menor • Glúteo mayor (¿?) • Gemelos • Tibial anterior y peroneos • Extensores de los dedos

rio, circunstancia que obliga a regular las pausas, al menos, de igual tiempo que el trabajo. No obstante, después de los primeros trenes, las fibras lentas quedan en un segundo plano y apenas participan en el esfuerzo.

- Si se aplican impulsos largos (2 o 3 ms), la respuesta de la fibra muscular será buena, la intensidad será menor y la sensación de calambre eléctrico más molesta que con impulsos cortos.
- Si se aplican impulsos cortos (de 0,1 a 0,5 ms), la respuesta de la fibra muscular será pobre. En cambio la respuesta nerviosa será buena, aunque se requerirá más intensidad que con los impulsos largos, pero la

sensación de calambre eléctrico será más llevadera.

- Los pulsos de forma triangular y monofásicos generan menos respuesta que los cuadrangulares monofásicos, pero los cuadrangulares bifásicos son mejor tolerados y ofrecen mayor respuesta que los dos anteriores.

Al estimular los nervios, éstos excitarán las placas motoras del conjunto innervado por ellos. La sensación de respuesta a la contracción es muy distinta de emplear impulsos cortos o largos (son aplicaciones que implican selectividad de tratamiento).

Si la intensidad regulada en el faradizador es alta (y se cuenta con electrodos amplios),

la invasión eléctrica de la zona será mayor y se conseguirá reclutar gran número de fibras musculares de manera simultánea. Esto llevará a tomar dos precauciones en caso de tratamientos intensos y fuertes:

- El paciente estará atento al momento de insaturación del tren para participar de forma activa en el esfuerzo muscular.
- Se aplicará resistencia a la fuerza muscular.

La mejor manera de conseguir que el paciente no sea sorprendido por la invasión farádica consiste en que él mismo cierre el circuito mediante el mando de aplicación intencionada (Fig. 11-15).

Los equipos de electroestimulación buenos están provistos de su correspondiente mando para entregar al paciente, con el fin de que éste pulse el botón que activa la corriente elegida hasta el momento deseado y lo suelte al alcanzar la situación de fatiga.

En cuanto a la oposición de resistencia al trabajo muscular, puede realizarse con ejercicios isométricos o isotónicos, lo que provoca que coincida el esfuerzo voluntario y activo del paciente con el tren de faradización (mediante el mando de faradización intencionada) bien con el estímulo eléctrico antes que la contracción voluntaria, o al contrario, primero la contracción voluntaria y después se refuerza con el tren de faradización. Los objetivos de ambos casos son distintos:

- Si se aplica faradización y después se contrae, se buscará una ayuda al trabajo muscular, una concienciación o un refuerzo a la poca capacidad muscular. Por ello, los trenes estarán formados por impulsos y reposos dirigidos a la fibra lenta (frecuencia baja e intensidad moderada).
- Si la corriente farádica se implanta después del esfuerzo muscular, se pretenderá reclutar al esfuerzo fibras que no se habían integrado por la contracción voluntaria (por lo gene-

ral, fibras rápidas), lo cual implica que los trenes deben estar compuestos por impulsos y reposos dirigidos a fibra rápida (frecuencia alta e intensidad también elevada).

Los trenes con pulsos largos e intensidad considerable se soportan mal al traspasar la piel, lo que obliga a buscar formas de paliar la parte sensitiva desagradable para el paciente. Puede conseguirse con impulsos cortos, o cortos y bifásicos. Es frecuente encontrar estimuladores (los EMS) cuyos impulsos siempre son muy cortos, pues utilizan como referencia los tiempos de cronaxia en lugar de los tiempos útiles. Son los trenes de alto voltaje descritos con anterioridad.

Asimismo, puede disminuirse la molestia mediante el empleo de corrientes de media frecuencia como portadora que, moduladas de manera adecuada, generan trenes de pulsos de doble onda con resultados excelentes y con mínima molestia debido a la poca impedancia que presentan los tejidos a la media frecuencia. Son las llamadas corrientes de Kots (Fig. 11-11 A).

Además, los tejidos poseen la propiedad de presentar menor impedancia a los cambios de tensión que a los cambios de intensidad. Por ello, si se aplican impulsos de alto voltaje con mínima intensidad, se mantendrá el nivel de potencia eléctrica y se conseguirá una buena respuesta con poca molestia. No obstante, los equipos que aplican mucha intensidad con poco voltaje se vuelven menos soportables. Esta razón causa la proliferación de estimuladores portátiles con baterías, que generan impulsos muy cortos, de doble onda (bifásicos) de alto voltaje y poca intensidad (Fig. 11-10 A).

Es obvio que, si el paciente en todo momento se siente poco agredido y controla la situación para coordinar trabajo activo con estímulo eléctrico, los resultados serán satisfactorios y permitirán alcanzar los objetivos propuestos (en general, de potenciación o alargamiento muscular).

Así pues, dentro del concepto de faradización, no sólo se tendrán en cuenta las corrientes

farádicas, sino que se incluirán aquellas corrientes que formen trenes para conseguir trabajo muscular seguido de sus correspondientes pausas, como los trenes de alto voltaje y los trenes de media frecuencia (corriente de Kots).

Los tiempos correspondientes a la duración y pausa de los trenes están determinados por:

- El tipo de afectación patológica.
- Los objetivos deseados, según se pretenda trabajar fibras lentas, medias o rápidas.
- La adaptación al tiempo empleado en un ejercicio activo que se desee reforzar con faradización.
- Cumplir el objetivo de relajación, tonificación, analgesia, potenciación, alargamiento, bombeo circulatorio, etcétera.
- La resistencia a la fatiga, condicionada por estados metabólicos, iónicos (electroquímicos) y de entrenamiento.
- Evitar lesiones en el conjunto neuromuscular por exceso de electricidad y tiempo.

Utilidad y aplicación de la faradización

Debe considerarse que las farádicas, así como los trenes de alto voltaje y los trenes de media frecuencia, pueden actuar en una amplia gama de efectos,

- desde la concienciación de la contracción de un músculo o grupo muscular que no manifiesta respuesta voluntaria (quizá a causa de un largo período de inmovilización e incapacidad funcional),
- pasando por analgesia,
- la mejora del trofismo,
- el bombeo de líquidos,
- la elongación muscular,
- la relajación muscular,
- la regulación del tono o «servocontrol»,
- hasta su utilización como herramienta de potenciación muscular del deportista con la finalidad de mejorar sus posibilidades musculares.

Algunos electroestimuladores no permiten que los trenes duren más de 10 s. La razón fundamental suele apoyarse en el fenómeno fisiológico siguiente: si un músculo se mantiene intensamente contraído durante más de 10 s consume sus recursos almacenados, los cuales no se han podido reponer durante su estado de contracción, y si pasa de 10 s, entraría en trabajo anaeróbico. Esta suposición establecida en 10 s depende, por supuesto, de multitud de factores, pero 10 s se ha extendido como valor estándar.

Pretender la evitación del trabajo anaeróbico puede ser importante hasta que el músculo consiga cierto estado próximo a la normalidad. Sin embargo, si se desea usar la faradización como refuerzo a la potenciación, se superarán los 10 s, opción que provocará trabajo anaeróbico en la musculatura.

La duración de las sesiones puede oscilar entre unos pocos minutos y cerca de media hora y se tratará de situar los electrodos sobre los mejores puntos motores, en zonas en que no molesten al paciente ni agredan a su piel, además de conseguir las mejores respuestas con la mínima intensidad posible, sin olvidar que, por pertenecer las farádicas clásicas al grupo de las galvánicas interrumpidas, manifiestan polaridad y posibilidades de causar indebidas quemaduras químicas.

En caso de aplicaciones monopolares con punto motor muscular, la respuesta sólo será del músculo interesado o, tal vez, de algunos muy próximos. Con todo, si la aplicación es en un punto motor nervioso, la respuesta se extenderá a todos los músculos inervados por el tronco nervioso desde el electrodo activo en sentido distal. En algunas ocasiones, también responden los músculos en sentido proximal al electrodo activo, situación que se debe al estímulo de la raíz nerviosa con el electrodo masa [+] y se resuelve con el cambio de lugar del electrodo masa.

No puede olvidarse que trabajar con electroestimulación para fortalecer la musculatura presenta ciertas dificultades operativas y no

puede acudir a métodos de fortalecimiento que se practicarían sin estar conectados a una máquina. Esto obliga a diseñar y adaptar sistemas de trabajo que posibiliten la estimulación eléctrica. Asimismo, si las dificultades adaptativas al estimulador limitan otras técnicas más eficaces, quizá sea el momento de pensar que será más práctico liberarse del estimulador.

Relajación muscular

Tanto para relajar como para mejorar el tono y ofrecer propiocepción posterior a grandes períodos de inmovilización, se utilizarán trenes de intensidad moderada, pero que consigan un buen efecto motor. Para disminuir contracturas, el tiempo del tren y de la pausa serán iguales: entre 0,5 y 2 s (muy típico: 1 s-1 s). Si es posible, se seleccionarán farádicas bifásicas (Fig. 11-16). Se busca un

efecto de contracciones con cambios bruscos y repetitivos que conduzca a la regularización de los músculos contracturados (Tabla 11-6).

Analgesia con faradización

Muchos dolores originados en la masa muscular, en fascias y aponeurosis, en tendones y sus inserciones, así como en articulaciones se alivian con ejercicio, con movimiento, con trabajo muscular, con elasticidad, etc. Así pues, desde una simple «carga por contractura» hasta una algodistrofia, pueden aliviarse y prevenirse estados de alodinia.

A modo de ejemplo, se podrá entender y practicar con los trapecios superiores de una persona que manifieste dolor por fatiga y su correspondiente contractura.

Si se aplica un electrodo en cada trapecio con una corriente sin polaridad para tratar ambos trapecios, o con polaridad, para conseguir el predominio de un trapecio sobre el

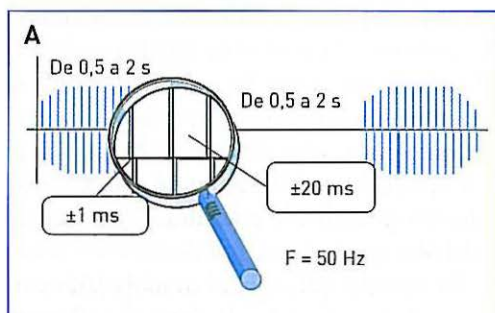


Figura 11-16. A) Trenes cortos para relajación muscular. Es muy típico aplicar 1 s-1 s. F: frecuencia. B) Aplicación de trenes cortos para relajación muscular.

Tabla 11-6. Relajación muscular

Nivel de respuesta	Moderada, pero brusca y repetitiva
Corriente	Farádica, de alto voltaje o de Kots
Pulsos	De 1 a 5 ms
Reposos	De 20 a 40 ms
Forma	Triangular o cuadrada
Rampa	Mínima (subida y bajada bruscas)
Tren	De 0,5 a 2 s (típico: 1 s)
Pausa	De 0,5 a 2 s (típico: 1 s)
Intensidad	Moderada
Percepción del paciente	Relajante y tolerable
Electrodos	En puntos motores de los músculos que deben relajarse
Trabajo activo	No

otro, se alcanzarán los siguientes objetivos: tras aplicar vibraciones primero, después trenes cortos para relajar y, por último, trenes para tonificar, se notará una mejoría importante en el tono muscular, en la movilidad, en la elasticidad tisular y un considerable alivio de la zona al palpar y deformar la masa muscular antes contracturada (v. «Electroanalgesia por vibración muscular», en el cap. 8).

Con las vibraciones se inicia un proceso de relajación y elongación. Con los trenes cortos se provoca trabajo muscular y su correspondiente aumento del riego y lavado de detritos, así como calor, movilidad de planos tisulares y movilidad articular. Por último, con los trenes más largos y más intensos, se regularizan las funciones muscular, nerviosa y nutritiva del propio músculo, así como el aumento de riego local. En definitiva, se habrá regularizado la actividad tras haber recuperado las funciones de la zona y la percepción de normalidad en el paciente.

Tonificación moderada

Se trata de conseguir trabajo muscular cuando la musculatura se encuentra atrofica (no denervada), inhibida, desentrenada o el propio sistema nervioso y sus placas motoras son incapaces de controlarla de manera debida. La estimulación transcutánea ayudará al sistema neuromuscular y desencadenará las respuestas que el paciente no consigue de forma voluntaria. Debe evitarse la fatiga y la saturación muscular, y buscar bien la corriente para evitar molestias sensitivas. Son típicas estas aplicaciones en inmovilizaciones prolongadas o en situaciones de impotencia funcional mantenida durante períodos prolongados (Tabla 11-7).

Potenciación moderada

Se utilizan trenes moderadamente intensos sin sobrepasar los 10 s para evitar el trabajo anaeróbico. Puede superponerse actividad vo-

Tabla 11-7. Tonificación moderada	
Nivel de respuesta	Moderada, pero clara y bien definida
Corriente	Farádica, de alto voltaje o de Kots
Pulsos	De 1 a 5 ms
Reposos	De 20 a 40 ms
Forma	Triangular o cuadrangular
Rampa	Moderada
Tren	De 2 a 5 s
Pausa	De 2 a 7 s
Intensidad	Moderada, pero suficiente y eficaz
Percepción del paciente	Sensación de contracción muscular forzada por la corriente
Electrodos	En puntos motores de los músculos que deben trabajarse
Trabajo activo	No

luntaria isométrica o contra resistencia. Las pausas deben ser iguales o mayores que los trenes. Si es posible, se seleccionarán corrientes farádicas bifásicas bien adaptadas al grupo muscular, de alto voltaje o corrientes de Kots (Fig. 11-17). Es importante añadir la posibilidad de aplicación intencionada para acomodarse bien al trabajo activo (Tabla 11-8).

Bombeo circulatorio

Se utilizan trenes dirigidos a la fibra media, entre 6 y 10 s, bastante intensos hasta que provoquen una importante presión intramuscular por su nivel de contracción, para así forzar la salida de los líquidos circulantes (tanto de sangre como de linfa). En la farádica se utilizan pulsos cuadrangulares bifásicos de 0,5 ms con reposos de 15 ms. Se establecen pausas, al menos, del 50 % más que el tiempo del tren con la finali-

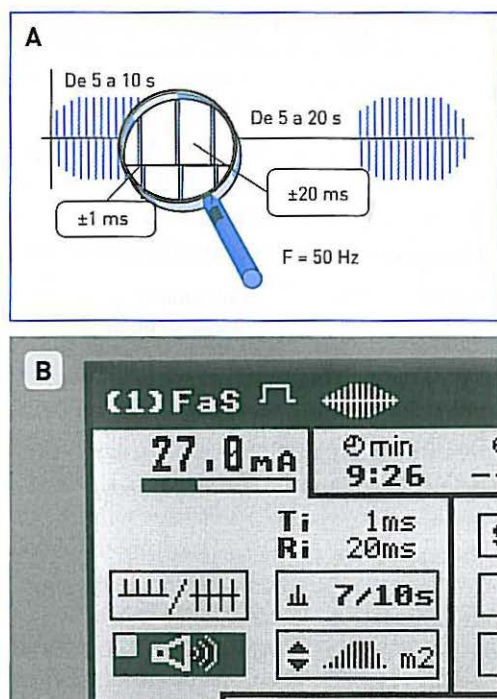


Figura 11-17. Potenciación moderada. A) Esquema de una corriente farádica bifásica o de alto voltaje. B) Aplicación de una corriente farádica para una potenciación moderada.

dad de permitir el retorno circulatorio. Se evitará superar el tiempo de trabajo anaeróbico. Se utilizará una rampa moderada. Siempre que sea posible, se aplicarán pulsos bifásicos (Fig. 11-18 y Tabla 11-9). Para evitar calambres musculares conviene oponer cierta resistencia al esfuerzo acompañado de control activo.

Potenciación y alargamiento muscular

En ambos casos se usará la técnica de aplicación intencionada mediante el pulsador manual. Los trenes serán largos e intensos para provocar el trabajo anaeróbico (sin alcanzar el dolor). Los pulsos serán cortos y bifásicos para evitar molestias al paciente. Los reposos deben ser entre 10 y 15 ms (típico: 12 ms) para trabajar de manera selectiva la fibra rápida. Las pausas dependerán de la metodología de poten-

Tabla 11-8. Potenciación moderada

Nivel de respuesta	Fuerte; debe apreciarse importante contracción muscular
Corriente	De alto voltaje, farádica o de Kots
Pulsos	De 0,5 a 2 ms con corriente farádica
Reposos	De 12 a 25 ms (depende del grupo muscular y de su proceso patológico)
Forma	Cuadrangular o bifásica (debe usarse preferiblemente corriente de alto voltaje o de Kots)
Rampa	Moderada
Tren	De 5 a 10 s (es recomendable la aplicación intencionada)
Pausa	El mismo tiempo o más hasta el doble (es recomendable la aplicación intencionada)
Intensidad	Alta, pero tolerable
Percepción del paciente	Sensación de contracción muscular forzada por la corriente
Electrodos	En puntos motores nerviosos o abarcando grupos musculares
Trabajo activo	Siempre debe sumarse el trabajo activo frente a la resistencia moderada

ciación (el mismo tiempo del tren, el doble, el triple, el quintuple o a gusto del fisioterapeuta). La estimulación eléctrica estará superpuesta al trabajo muscular voluntario frente a resistencia (Fig. 11-19 y Tablas 11-10 y 11-11).



Figura 11-18. Corriente farádica ajustada para aplicar un bombeo circulatorio.

Tabla 11-9. Bombeo circulatorio

Nivel de respuesta	Fuerte; debe generar tensión y presión intramuscular
Corriente	De alto voltaje, farádica o de Kots
Pulsos	De 0,5 a 2 ms con corriente farádica
Reposos	De 12 a 20 ms
Forma	Cuadrangular o bifásica
Rampa	Moderada
Tren	De 5 a 10 s (p. ej., 8 s)
Pausa	La del tren más el 50 % (p. ej., 12 s)
Intensidad	Importante
Percepción del paciente	Sensación de contracción muscular forzada por la corriente
Electrodos	En puntos motores de los músculos que deben trabajarse o bipolar en todo el grupo muscular
Trabajo activo	No es necesario, pero en algunos casos puede y debe añadirse

La potenciación se inicia con la musculatura alargada, con ejercicios isotónicos y termina con ejercicios isométricos mantenidos y musculatura acortada, entre otras razones porque se está limitado por la estimulación eléctrica. En la elongación se realizan ejercicios isométricos en alargamiento tendente a aumentarlo (Fig. 11-20).

Para la elongación pueden utilizarse dos métodos:

- Estímulo sensitivo mantenido varios *minutos* con inicio de respuesta motora y elongación pasiva suave sin provocar defensa.
- Estímulo motor superpuesto al trabajo activo durante unos *segundos* para, en la relajación, ganar grados de forma pasiva y sin provocar defensa refleja. La maniobra se repite varias veces.

En la primera, se pretende descontracturar el músculo. Es un gesto pasivo para el paciente que siente adormecimiento y relajación, situación que el fisioterapeuta nota de forma manual y gana amplitud articular suavemente hasta la restricción fascial.

En la segunda, se pretende hallar liberación y elongación tendinofascial. El paciente, con el paquete muscular que debe elongarse en el límite del rango, tendrá que aplicar fuerza activa frente a resistencia manual (o autoaplicable), reforzada por trenes de aplicación intencionada para adaptarlos al trabajo activo. Cuando al paciente se le da la orden de relajación, el terapeuta inicia un aumento pasivo y suave del rango articular hasta hallar un nuevo límite. Se trata de una técnica de contracción-mantenimiento-relajación, reforzada por corriente excitomotora.

Potenciación a doble canal de forma simultánea o alternada

En determinadas situaciones, es necesario entrenar o estimular varios grupos muscula-

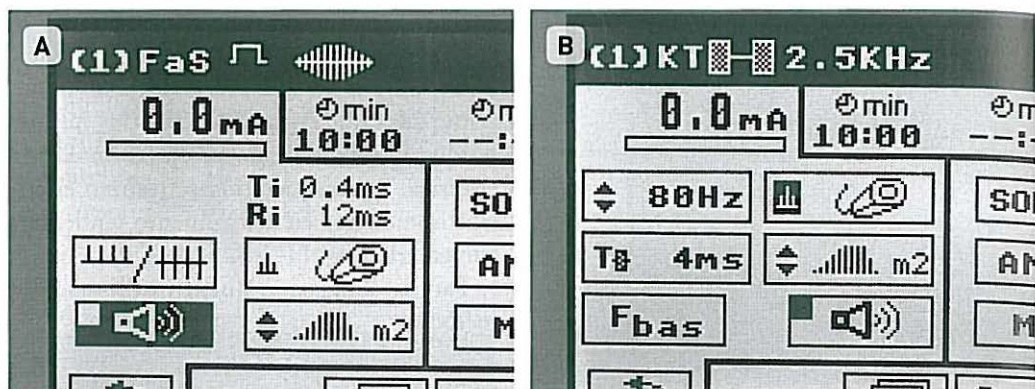


Figura 11-19. A) Corriente farádica ajustada para potenciación intencionada. Sus parámetros coinciden con los de la corriente de alto voltaje. B) Corriente de Kots ajustada para potenciación con aplicación intencionada.

res de forma alternada, es decir, cuando uno trabaja, el otro descansa. Imagínese la estimulación de ambos cuádriceps de manera que, cuando una pierna está en extensión, la otra reposa flexionada y se alternan en una sucesión que se programa en el equipo (Fig. 11-21 A). Otras veces, el objetivo es conseguir trabajo simultáneo con más de un canal del estimulador. Ello se puede llevar a cabo si se activan los dos canales con la misma corriente y se coordinan con las mismas cadencias y el mismo tiempo de trabajo y de descanso (Fig. 11-21 B).

Como puede apreciarse, cuando los dos canales trabajan, pueden programarse para que lo hagan de forma independiente (como para dos pacientes distintos) o que se coordinen entre sí para realizar un trabajo simultáneo o alternado.

Potenciación secuenciada en fases

Si se somete a un paciente a una potenciación intensa sin previo calentamiento muscular, puede ser una imprudencia conducente a resultados de lesión muscular o tendinosa. Para evitarlo, se debe hacer trabajar al grupo muscular durante unos minutos previos al

máximo esfuerzo, bien con trabajo activo, bien con trenes más moderados que los de potenciación con el fin de preparar al grupo muscular que se potenciará. También es conveniente que, después del proceso de potenciación intensa, se ayude al descanso y relajación de la zona sometida a esfuerzo intenso con vibraciones musculares.

En definitiva, en los estimuladores suelen diseñarse subprogramas encadenados para primero calentar, después potenciar y, por último, relajar o liberar tensión. Esto es frecuente en los neuroestimuladores de alto voltaje o EMS de cierta calidad.

Potenciación con descanso activo

Otra modalidad de fortalecimiento muscular consiste en programar las pausas entre trenes con una frecuencia de fondo que genere vibración muscular, *agradable y relajante*, para generar mayor relajación y facilitar la recuperación del esfuerzo que se realizó durante el tiempo en que se aplicó el tren. Lógicamente, la intensidad del tren no es la misma que la intensidad que se aplica durante la pausa o el descanso activo; esta pausa activa requiere su regulación de intensidad independiente.

Tabla 11-10. Potenciación muscular

Nivel de respuesta	Fuerte; debe apreciarse una importante contracción muscular
Corriente	De Kots, de alto voltaje o farádicas bien ajustadas
Pulsos	De 0,3 a 1 ms con corrientes farádicas. De 2 a 6ms de corriente de Kots
Reposos	De 10 a 15 ms (depende del grupo muscular y de su proceso patológico)
Forma	Bifásica en corrientes farádicas y de alto voltaje (es preferible usar corriente de Kots)
Rampa	Lenta
Tren	Superior a 10 s (siempre con aplicación intencionada) hasta que el paciente aguante
Pausa	El mismo tiempo o más del que se utilizó en la contracción, según el método utilizado, pero siempre con aplicación intencionada
Intensidad	Alta, pero soportable y con la corriente más tolerable (¡cuidado con las lesiones musculares!)
Percepción del paciente	Fuerte contracción muscular forzada por la corriente, que aumenta el esfuerzo activo
Electrodos	Abarcan grupos musculares amplios
Trabajo activo	Siempre debe sumarse el trabajo activo frente a fuerte resistencia. La corriente entra después del trabajo activo y se retira antes de finalizar el trabajo activo

Tabla 11-11. Alargamiento muscular

Nivel de respuesta	Fuerte; debe apreciarse importante contracción muscular
Corriente	De Kots, de alto voltaje o farádicas bien ajustadas
Pulsos	De 0,3 a 1 ms con corrientes farádicas o de alto voltaje
Reposos	De 10 a 15 ms (depende del grupo muscular y de su proceso patológico)
Forma	Bifásica en corrientes farádicas y en corrientes de alto voltaje (preferible corriente de Kots)
Rampa	Lenta
Tren	Superior a 10 s (siempre con aplicación intencionada) hasta que se note que cede la resistencia
Pausa	El mismo tiempo o más del empleado en el esfuerzo (siempre con aplicación intencionada)
Intensidad	Alta, pero soportable y con la corriente más tolerable (¡cuidado con las lesiones musculares por tracción de los tejidos elongados!)
Percepción del paciente	Fuerte contracción muscular forzada por la corriente
Electrodos	Abarcan grupos musculares amplios
Trabajo activo	Siempre sumar el trabajo activo ante fuertes resistencias con ejercicio isométrico y en elongación

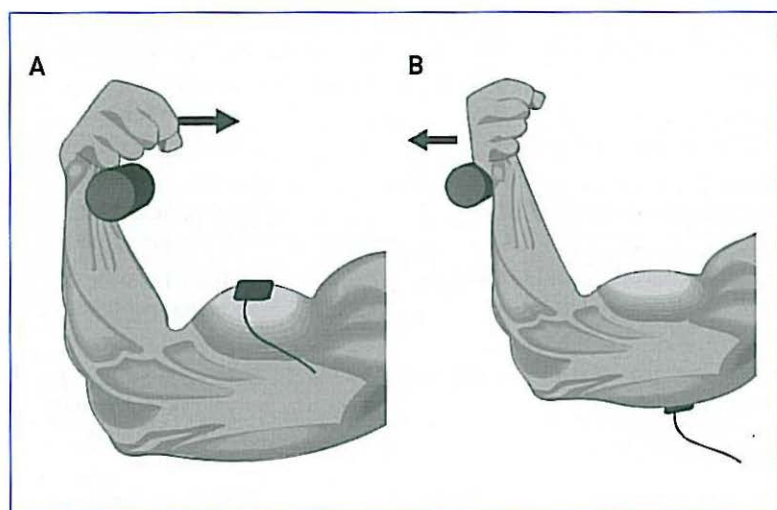


Figura 11-20. A) Potenciación del bíceps con ejercicio isométrico tendente a concéntrico. B) Elongación del tríceps en ejercicio isométrico que tiende a excéntrico. En ambos se ganan grados de flexión de codo.

Así pues, según las posibilidades de la pausa, la potenciación puede llevarse a cabo de dos formas:

- Tren con intensidad alta para generar fuerte contracción y pausa a una intensidad 0 y a una frecuencia 0 para que se recupere el grupo muscular trabajado (forma clásica).
- Tren con intensidad alta (como en el anterior método) seguido de una pausa con una frecuencia de fondo, entre 1 y 6 Hz (3 Hz suele ser una frecuencia muy solicitada por

el paciente). El tiempo de pausa activa o vibratoria suele ser el doble o el triple que el tiempo del tren. La pausa activa acelera la recuperación del esfuerzo.

Estos sistemas de potenciación suelen aplicarse con estimuladores de alto voltaje o estimulación electromuscular (EMS) de gama profesional. Las corrientes farádicas de algunos equipos estándares de última generación también incluyen el llamado «descanso activo».

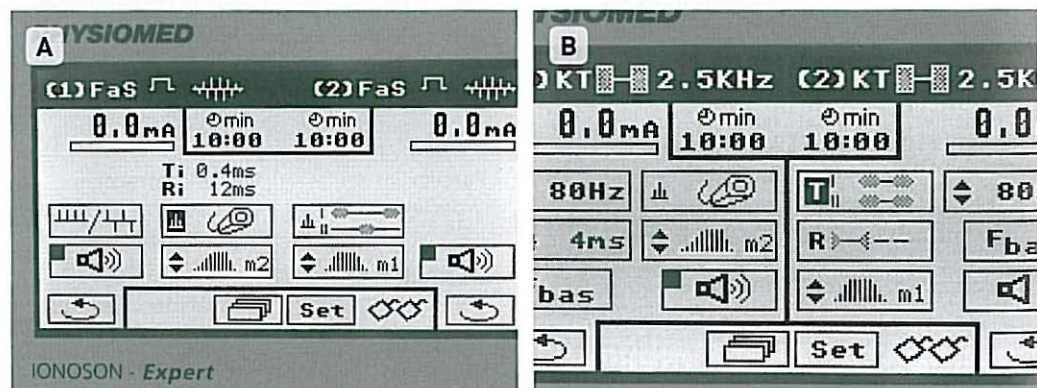


Figura 11-21. A) Ajustes de un estimulador con doble canal para trabajar dos grupos musculares de forma alterna. B) Ajustes de un estimulador con doble canal para trabajar dos grupos musculares de forma simultánea.

Características mínimas para un equipo de faradización

Las condiciones mínimas que deberían encontrarse en un aparato de faradización, si se emplea como tal, aunque forme parte de otro estimulador, serían las siguientes (Fig. 11-22):

- Interruptor de encendido y apagado.
- Piloto indicador de encendido y apagado.
- Bornes de salida con indicativo de polaridad (de una o varias salidas).
- Inversor de polaridad para cada salida.
- Regulador de intensidad para cada salida.
- Medidor de intensidad para cada salida.
- Trabajo en intensidad constante (CC) o voltaje constante (VC).
- Mando de aplicación intencionada o pulsador manual para controlar a voluntad los trenes y sus pausas.
- Generador de distintas formas de pulsos, junto con su selector correspondiente.

- Sendos reguladores de tiempo de impulso y tiempo de reposo en milisegundos (de 0,1 a 10 ms y de 5 a 100 ms), respectivamente.
- Reguladores del tiempo de los trenes y tiempo de las pausas en segundos (de 0,5 a 30 s y de 0,5 a 60 s), respectivamente.
- Regulador de rapidez de subida y bajada del tren (rampa).
- Conector para el correspondiente pulsador de aplicación intencionada.
- Piloto o alarma que indique el deficiente contacto de los electrodos.
- Generador de sonido o luminoso que coincida con el tren.
- Respeto de las condiciones de seguridad que marca la legislación con el fin de evitar daños y lesiones.

El indicador de intensidad sólo es orientativo, pues la intensidad aplicada depende, sobre todo, del control palpatorio y visual que detecta el fisioterapeuta sobre el músculo tratado a la vez que regula la intensidad y la

11

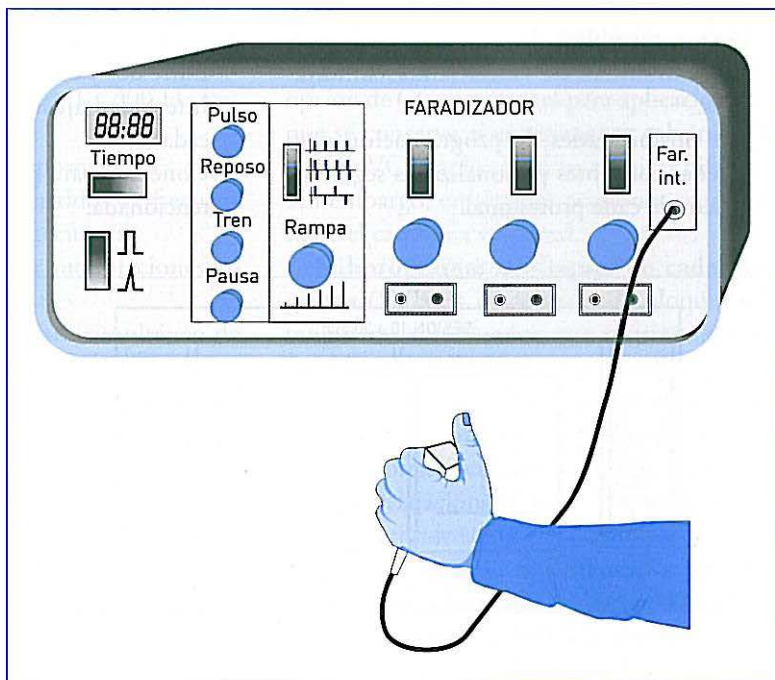


Figura 11-22. Faradizador con pulsador de aplicación intencionada.

frecuencia con la otra mano. Por supuesto, los niveles máximos de intensidad también estarán limitados por las manifestaciones del paciente en cuanto a las molestias de la corriente o si la contracción resulta dolorosa y peligrosa por excesiva.

Para evitar esta mezcolanza mental de números y tiempos se presenta un resumen en la figura 11-23.

DISEÑO Y CARACTERÍSTICAS MÍNIMAS DE UN NEUROESTIMULADOR DE ALTO VOLTAJE



Los estimuladores de alto voltaje de porte medio —es decir, ni un pequeño aparato de estimulación nerviosa transcutánea (TENS) o EMS ni tampoco un estimulador clásico para conexión a la red eléctrica— deben contar con un número mínimo de características, dada su polivalencia como aparatos de TENS y EMS de manera simultánea, como:

- Su portabilidad al estar alimentado por baterías recargables.
- Disponibilidad de varias salidas simultáneas.
- Sus posibilidades de programación para diseñar corrientes personalizadas según los deseos de cada profesional.

Debe recordarse que estos equipos son muy prácticos y útiles en estados en que no hay denervación o cuando la atrofia neuromuscular no es importante. Su uso está muy extendido en el deporte y entre el público en general dada la gran cantidad de programas que ofrecen diseñados de fábrica aunque los más profesionales disponen de posibilidades para programación personalizada.

Al analizar los programas ya diseñados, en muchas ocasiones no cumplen con los objetivos para los cuales se afirma que están destinados; tal vez, el exagerado celo en las medidas de seguridad o los posibles riesgos por el uso indebido del público general conducen a programaciones excesivamente prudentes y carentes de efectos.

A continuación se enumeran las características posibles y mínimas que un equipo de este tipo puede ofrecer (Fig. 11-24):

- Impedancia en la salida para 500 Z ohmios de carga.
- Tiene que alcanzar 150 mA (pico), como máximo.
- Debe alcanzar unos 200 V en vacío y en VC.
- Entre dos y cuatro salidas.
- Intensidad ajustable e independiente para cada salida.
- Conector para pulsador de aplicación intencionada.

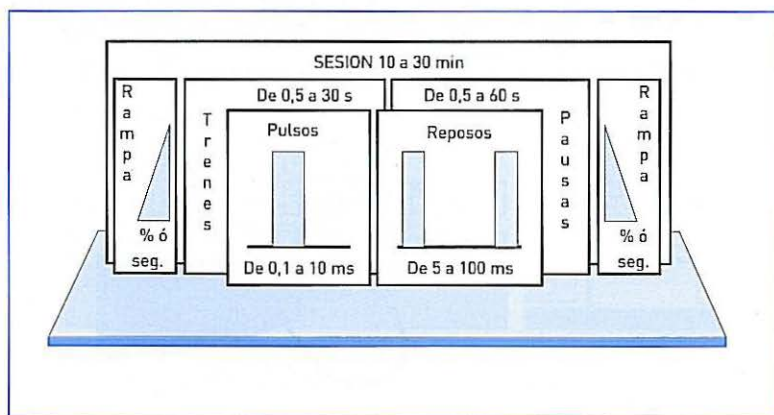
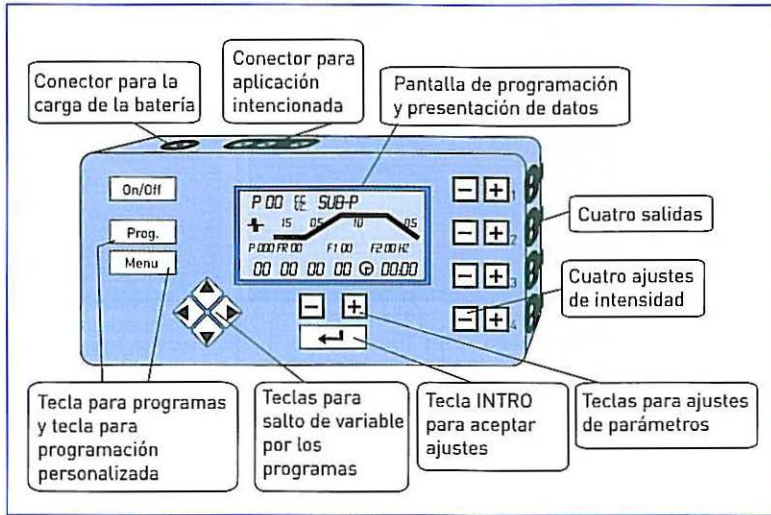


Figura 11-23. Niveles de tiempos cuando en un faradizador con trenes: dentro del tren se ajustan milisegundos (ms), para trenes y pausas se ajustan segundos (s), las rampas de subida o de bajada se ajustan en segundos (s) o en porcentaje (%) y para el tiempo de sesión en minutos (min).

Figura 11-24. Hipotético estimulador de alto voltaje (TENS y EMS) que puede parecerse a otros, pero que no es copia de otro ni está patentado.



- Pantalla de cristal líquido en que se presentan los parámetros más importantes y la evolución de programación.
- Puede disponer de programas pregrabados y memorias libres para programar por el usuario.
- Puede ofrecer varias formas de onda (cuadrangulares monofásicas y cuadrangulares bifásicas consecutivas).
- Ajuste de anchura de pulso entre 0,05 y 0,5 ms (50-500 μ s).
- Ajuste de frecuencias entre 1 y 500 Hz (característica no habitual).
- Posibilidad de aplicar reposo activo.
- Posibilidad de aplicar barridos de frecuencia o modulaciones de frecuencia.
- Posibilidad de practicar modulaciones en anchura de pulso.
- Posibilidad de tratamiento simultáneo de agonistas y antagonistas.
- Posibilidad de ajuste del componente galvánico para tratamientos bioquímicos e iontoforesis (característica no habitual).

Análisis detenido

del neuroestimulador



El corazón de estos aparatos está en su pantalla y en la información que ofrece. A conti-

nuación se repasan las diferentes secciones de este hipotético estimulador (Fig. 11-25).

Número de programa (P 00). Indica el número de programa. En general disponen de unos 100 programas (p. ej., del 00 al 70, programados, y del 71 al 99, memorias libres para ser programadas por el usuario).

Modo de trabajo del equipo. Está representado por una doble expresión: corriente constante y voltaje constante (CC y VC). La opción de CC se reservará para aplicaciones en que se conserve el componente galvánico; la opción VC se aplicará en las técnicas bifásicas. Sin embargo, en algunas ocasiones es importante el cambio a voluntad.

Subprogramas o bloques de cada programa (SUB-P). El número de bloques rectangulares sombreados que se presenten en pantalla indicaría el número de subprogramas que contiene cada programa. Por ejemplo, en un caso de calentamiento muscular, seguido de una potenciación muscular para concluir con una relajación muscular se apreciarían tres bloques activados.

Forma de pulso. Se dispondrá, al menos, de dos formas de pulso: cuadrangular monofásico y cuadrangular bifásico consecutivo. La forma monofásica será muy útil cuando inte-

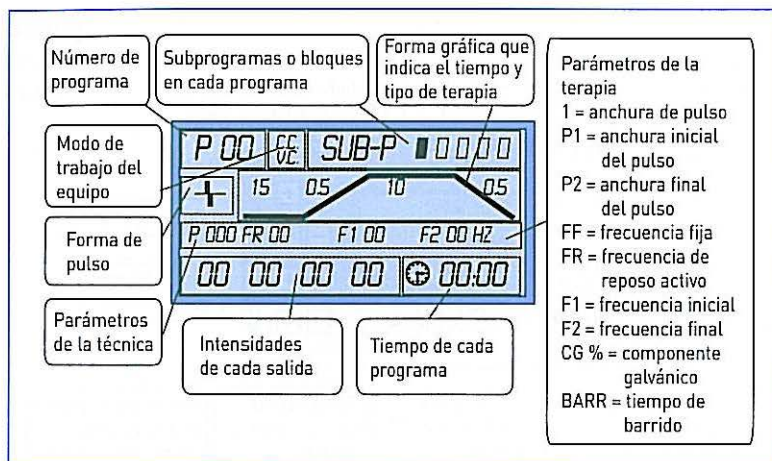


Figura 11-25. Posible diseño de la pantalla del neuroestimulador de alto voltaje que se propone.

rese la polaridad de los electrodos y el efecto de componente galvánico.

Forma gráfica que indica el tiempo y el tipo de terapia. En una zona importante de la pantalla se representará de forma gráfica el tipo de terapia (trenes, aplicaciones en frecuencia fija, modulaciones de frecuencia, modulaciones en amplitud o corrientes con componente galvánico), acompañado de la información numérica que se precise: tiempo de la pausa, tiempo del tren, tiempo de la rampa.

Parámetros de la técnica. Esta importante información completa la anterior referente al tratamiento aplicado: tiempo del pulso, frecuencias, frecuencias de barrido, componente galvánico, tiempos de barrido, etc. (Fig. 11-25 para observar toda la línea en las diferentes pantallas). Se propone que el rango de frecuencia llegue a 500 Hz para conseguir buenos componentes galvánicos.

Intensidades de cada salida. Cada salida debe reflejar los miliamperios aplicados. En algunas técnicas es muy importante (en componentes galvánicos) mientras que en otras (trenes para contracción muscular) es información intrascendente. Al menos, debe conocerse cuáles y cuándo están trabajando las diferentes salidas.

Tiempo del programa o de la sesión. Un cronómetro controlará e indicará el tiempo de la sesión en cuenta atrás.

Tipos de terapias posibles en el neuroestimulador

Trenes para trabajo muscular

Se representa en las figuras 11-26 y 11-27 con la forma de un trapecio. Podrán ser con pulsos monofásicos o bifásicos. Se aprecia una línea horizontal y baja que indica la pausa o reposo entre trenes, expresado en segundos. Esta pausa puede presentar total ausencia de



Figura 11-26. Trenes bifásicos con descanso activo o sin él.



Figura 11-27. Trenes monofásicos con aplicación intencionada.

corriente o mantener una corriente de fondo. Hay dos líneas que ascienden y descienden, respectivamente: la rampa, con sus tiempos de subida y de bajada en segundos. La línea horizontal más alta representa el tiempo durante el cual trabaja la corriente para provocar la contracción muscular. Puede ajustarse una frecuencia fija o una de inicio y otra final.

Los parámetros de la terapia son los siguientes:

- Modo de trabajo: VC.
- Forma del pulso: monofásico o bifásico.
- Anchura del pulso [P]: desde 50 hasta 500 μ s.
- Frecuencia de reposo [FR]: de 0 a 6 Hz (0 Hz indica ausencia de corriente en la pausa).
- Frecuencia de inicio [F1]: de 10 a 120 Hz.
- Frecuencia final [F2]: de 10 a 120 Hz. Para el caso de la frecuencia única, los dos generadores deben llevar el mismo valor. Por lo general, F2 siempre será más elevada que F1. En caso de manejo erróneo que pudiera alterar esta función, el programa arrastrará los valores de la otra frecuencia.
- Tiempo de pausa: desde 1 hasta 60 s (al bajar de 1 s, aparecerá un icono que indicará el control manual de este parámetro). El tiempo de pausa siempre será igual o mayor que el de trabajo o del tren. Los ajustes de tren y de pausa serán totalmente libres salvo

para impedir que la pausa sea menor que el tren.

- Tiempo para la subida de la rampa: de 0,2 a 5 s.
- Tiempo para la bajada de la rampa: de 0,2 a 5 s.
- Tiempo para mantenimiento del tren: de 1 a 30 s (al bajar de 1 s, aparecerá un icono que indica el control manual del circuito y así activará la opción de aplicación intencionada).

La información sobre los miliamperios aplicados en trabajo muscular con trenes tiene escasa importancia, ya que la referencia para dosificar se tomará de la contracción conseguida, observada y considerada como la pretendida.

En caso de incluir la función de trabajo alternativo entre agonistas y antagonistas, quizá lo más conveniente sería habilitar una nueva pantalla en que se representarán dos trenes —bien coincidentes, bien desfasados entre sí—, de manera que cuando uno trabaja el otro se relaja de manera alternante.

Aplicación de frecuencia fija con componente galvánico

El dibujo de pulsos que se repiten con la misma separación indica una aplicación mantenida y de frecuencia fija durante toda la sesión. Lógicamente se ajustarán los pulsos monofásicos y las frecuencias altas para alcanzar valores de componente galvánico importantes. Por ejemplo, si se ajustan los pulsos a 500 μ s y la frecuencia a 500 Hz, el componente galvánico será del 25 %. Es una aplicación interesante para dolores de tipo bioquímico y para practicar iontoforesis (Fig. 11-28).

Los parámetros de la terapia son los siguientes:

- Modo de trabajo: CC.
- Forma del pulso: monofásico.
- Anchura del pulso [P]: desde 50 hasta 500 μ s (en general, 500 μ s).



Figura 11-28. Aplicación mantenida en frecuencia fija con componente galvánico.

- Frecuencia fija [FF]: de 1 a 500 Hz (a mayor frecuencia, más componente galvánico).
- Componente galvánico: presentará el valor que se calcule según la frecuencia y la anchura del pulso ajustadas.

Aplicación de frecuencia fija con pulsos bifásicos sin componente galvánico

El dibujo de pulsos que se repiten con la misma separación indica una aplicación mantenida y de frecuencia fija durante toda la sesión. Si los pulsos son bifásicos, desaparecerá el componente galvánico. Esta corriente se aplicará para analgesia en dolores de tipo neurogénico (Fig. 11-29).

Los parámetros de la terapia son los siguientes:

- Modo de trabajo: CC o VC.
- Forma del pulso: bifásico.
- Anchura del pulso [P]: desde 50 hasta 500 μ s.
- Frecuencia fija [FF]: de 1 a 500 Hz.

Aplicación de modulación de frecuencia con pulsos monofásicos o bifásicos con componente galvánico o sin él

El dibujo de pulsos que se repite con diferente separación indica una aplicación mantenida durante toda la sesión, pero su frecuencia cambia de acuerdo con un tiempo de barrido ajustado por el usuario. Si los pulsos son bifásicos, desaparecerá el componente galvánico. Esta corriente se aplicará para analgesia en dolores de tipo neurálgico (Fig. 11-30) y se tratará de evitar el efecto de acomodación sensitiva.

Los parámetros de la terapia son los siguientes:

- Modo de trabajo: CC o VC.
- Forma del pulso: monofásicos o bifásico.
- Anchura del pulso [P]: desde 50 hasta 500 μ s.
- Frecuencia de inicio [F1]: de 1 a 500 Hz.
- Frecuencia final del barrido [F2]: de 1 a 500 Hz. El programa mantendrá una diferencia mínima de 0 Hz. Sin embargo, frente a barridos con diferentes frecuencias, F1 siem-

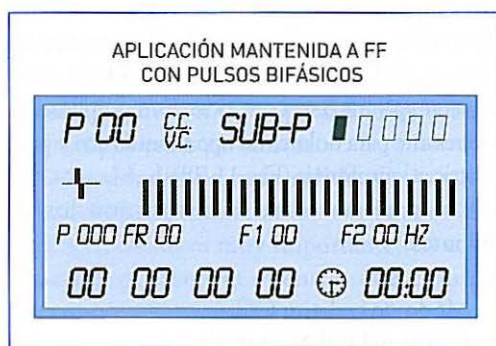


Figura 11-29. Aplicación mantenida en frecuencia fija, bifásica y sin componente galvánico.

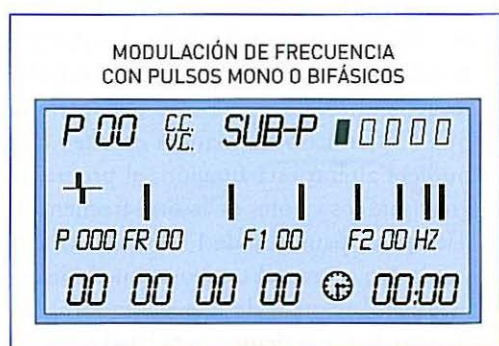


Figura 11-30. Modulación de frecuencia con pulsos monofásicos o bifásicos.

- pre será más baja que F2. En caso de que se manipule el ajuste para invertir esta función, el equipo arrastrará los valores de la otra frecuencia para mantener siempre $F2 = 0 > F1$.
- Tiempo del barrido [BARR]: este tiempo se ajustará entre 1 y 15 s.

Aplicación de modulación en anchura de pulso con pulsos monofásicos o bifásicos con componente galvánico o sin él



El dibujo de pulsos que se repite con diferente anchura indica una aplicación mantenida durante toda la sesión, pero la anchura de sus pulsos oscila de forma cadencial entre dos valores de acuerdo con un tiempo de barrido ajustado por el usuario. Si los pulsos son bifásicos, desaparecerá el componente galvánico. Esta corriente se aplicará para analgesia en dolores de tipo neurogénico (Fig. 11-31) para tratar de evitar el efecto de acomodación sensitiva.

Los parámetros de la terapia son los siguientes:

- Modo de trabajo: CC o VC.
- Forma del pulso: monofásico o bifásico.
- Frecuencia fija [F]: ajustable entre 1 y 500 Hz.
- Anchura del pulso inicial [P1]: desde 50 hasta 500 μ s.

- Anchura del pulso final [P2]: de 1 a 500 Hz. El programa mantendrá una diferencia mínima de 50 μ s. P1 siempre será más bajo que P2. En caso de que se manipule el ajuste y se pretenda invertir esta función, el equipo arrastrará los valores de la otra anchura de pulso para mantener siempre $P2 > P1$.
- Tiempo del barrido [BARR]: este tiempo se ajustará entre 1 y 15 s.

ALGUNOS CASOS

Denervación parcial

Es fundamental en esta circunstancia la obtención de las curvas I/T-A/T (Fig. 11-32). Si la curva muestra el punto de faradización entre 1 y 10 ms, es el momento de emplear trenes de faradización en lugar de impulsos aislados. De forma general se llevaría a cabo con:

- Impulsos: más de 2 ms (aparecen reflejados en la gráfica).
- Forma del pulso: quizá sería mejor la triangular, pero se puede probar con triangular y con cuadrangular.
- Reposos: más de 20 ms (habría que buscar el ángulo de deflexión).
- Trenes: de 2 a 4 s (para evitar fatiga).
- Pausas: de 5 s o más (según respuesta a la fatiga).
- Sesión: de 5 a 10 minutos si se inicia el paso de impulsos aislados a trenes.

Al prestar atención a las curvas (Fig. 11-32), el umbral de faradización se localiza en el cruce de la curva trazada con la vertical de 1 ms (o sus cercanías). Si el cruce se encuentra excesivamente alto, quizá no merezca la pena intentar la faradización por requerir intensidades extremas, con fuerte efecto agresivo sobre la piel y molestia para el paciente. Un estimulador de alto voltaje no conseguiría respuesta alguna.

Según el ejemplo de la gráfica, el mejor punto útil o de aplicación se encuentra en 10 ms para el impulso y en 50 ms del ángulo de deflexión



Figura 11-31. Modulación en anchura de pulso con pulsos monofásicos o bifásicos.

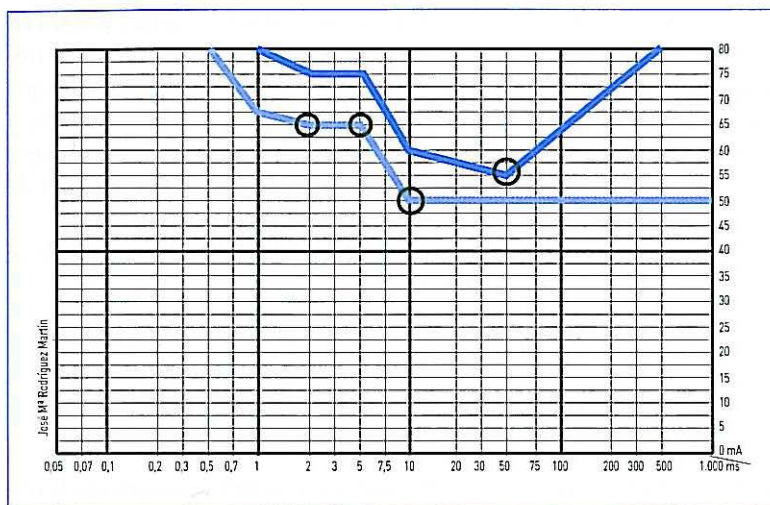


Figura 11-32. Curvas I/T-A/T de una denervación parcial.

para el reposo. Aunque son tiempos altos para diseñar un tren de corrientes farádicas, serán los adecuados: $10 \text{ ms} + 50 \text{ ms} = 60 \text{ ms}$ de período y, en consecuencia, la frecuencia será de $1.000/60 = 16 \text{ Hz}$, frecuencia considerada baja, pero es la correcta en este caso.

Si se presta atención, la curva cuadrangular muestra una zona de reactivación con su escalón en 5 y 2 ms, tiempos muy adecuados para formar trenes de faradización con intensidades no demasiado altas y quizá muy soportables por el paciente. Para elegir el mejor tiempo de reposo, se desliza repetidas veces el mando del tiempo (en el transcurso de salida del tren al paciente) hasta encontrar el que se aprecia con mejor respuesta.

En caso de personas colaboradoras, tal vez lo más indicado sería que los propios interesados regularan la duración de los trenes y de las pausas con el mando de faradización intencionada.

Degeneración fibrosante

En este caso es necesario, asimismo, trazar las curvas I/T-A/T de respuesta muscular (Fig. 11-33) que quizá muestren el punto de faradización por caracterizarse con curvas muy

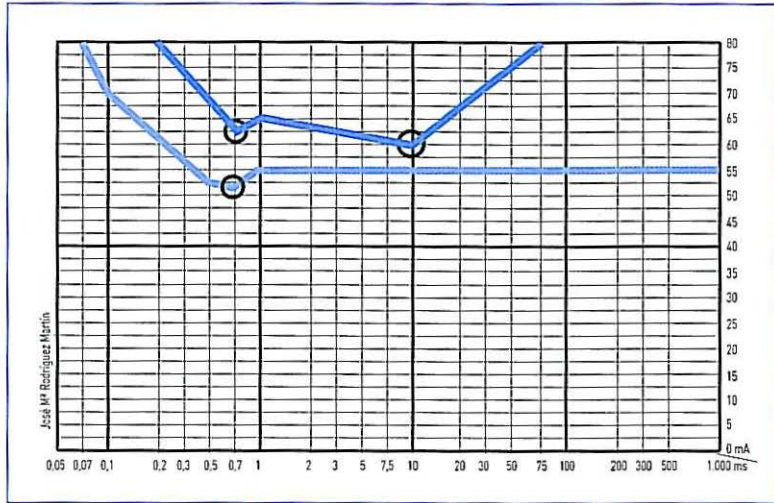
altas en la gráfica, marcando escalones o quebradas. Las curvas son largas a semejanza de la normal, pero muy altas.

En la gráfica se observa el fenómeno interesante (poco frecuente, pero llamativo) del buen estado de las fibras nerviosas debido a su reactivación en tiempos menores de 1 ms. Así pues, un tiempo de impulsos de 0,5 o 0,7 ms con reposos de 10 ms será muy adecuado para diseñar el tren de tratamiento. En esta patología es eficaz un aparato de EMS de alto voltaje.

Estas informaciones señalan la clara indicación de faradización, pero con altas intensidades, por lo cual deben estudiarse con detalle las curvas con el fin de componer la corriente con impulsos y reposos coincidentes en tiempos en que se requiera menor intensidad, bífásicos, y, a la vez, los más funcionales:

- Impulsos: 0,5-0,7 ms (el tiempo más adecuado en la gráfica).
- Reposo: 10 ms (el más adecuado aparece reflejado en la gráfica).
- Trenes: de 5 a 10 s.
- Pausas: de 10 a 20 s (dependiendo de la fatiga muscular).
- Sesión: de 15 a 20 minutos, dependiendo del estado del paciente.

Figura 11-33. Curvas I/T-A/T de un proceso de fibrosis muscular.



- Intensidad: suficiente como para provocar respuesta con movilidad articular.
- El paciente participará de forma activa junto con la corriente.

Sería más adecuado regular los trenes y las pausas con el control voluntario por parte del paciente mediante el pulsador de faradización intencionada.

Miopatías

El tratamiento fundamental o, al menos, uno de los principales para las miopatías es la electroestimulación con corrientes farádicas. Sin embargo, en este caso se trata de electroestimulación de precisión; se debe explorar de forma necesaria con curvas I/T-A/T sin olvidar otro factor que puede resultar clave, dependiendo de procesos patológicos que impliquen más a la fibra muscular, a la placa motora o a la neurona de inervación, en la siguiente forma.

Los tiempos de impulso cortos (menores de 1 ms) estimulan mejor la neurona que la fibra muscular, mientras que los impulsos superiores a 1 ms excitan más la placa motora y la fibra muscular que la neurona. De todas formas, esto suele apreciarse en la línea cuadrangular

de la curva I/T al dibujar un escalón. Por ello, se adaptarán los tiempos a dicho escalón.

En el caso de las miopatías, debe tenerse presente el método de aplicación, ya que:

- Con corriente bipolar y con impulsos largos predomina la influencia en la fibra muscular. Los reposos pueden ser cortos o largos (se buscarán los mejores según el ángulo de deflexión).
- Con corriente monopolar en el punto motor muscular, la duración del impulso (mejor corto) influirá de manera más selectiva en la placa motora (sinapsis) que en la fibra muscular. Es la forma ideal para estimular las reacciones electroquímicas de la placa motora con una condición fundamental, los tiempos de reposo tendrán a ser largos para que la colinesterasa pueda procesar la acetilcolina que produjo la contracción en la sinapsis de la placa motora.
- Con corriente monopolar en el punto nervioso, el estímulo directo del nervio excitará la musculatura que inerva.

Potenciación muscular

Se recomienda consultar también «Elongaciones musculares», más adelante, pues

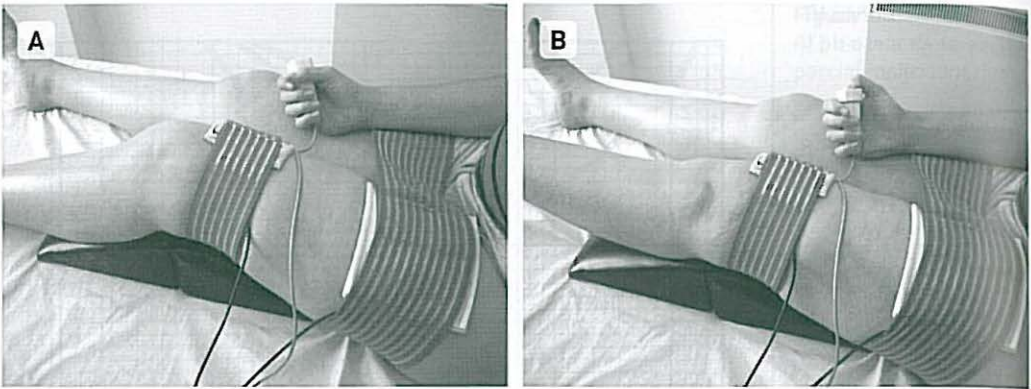


Figura 11-34. Potenciación del cuádriceps con todos sus vastos, aplicación intencionada y participación activa. Los electrodos son amplios y se aprecia un componente oblicuo en su fijación (el proximal hacia el externo y el distal hacia el interno).

lo descrito en ambos apartados en cuanto a parámetros de corrientes es común salvo que la potenciación se realiza con el músculo que tiende al acortamiento en tanto que en las elongaciones el músculo parte de la máxima elongación (Fig. 11-34).

Frente a musculaturas en períodos de potenciación, la faradización puede ser una importante técnica de ayuda, pues se aplica de

manera simultánea al esfuerzo voluntario, sea frente a resistencia submáxima o máxima, al adaptar la corriente al esfuerzo voluntario o el esfuerzo a la corriente (Figs. 11-34 y 11-35).

Frente a un requerimiento muscular intenso, en primer lugar, el paciente contraerá de forma activa y voluntaria el grupo muscular frente a una resistencia e, inmediatamente, se aplicará la descarga de impulsos eléctricos

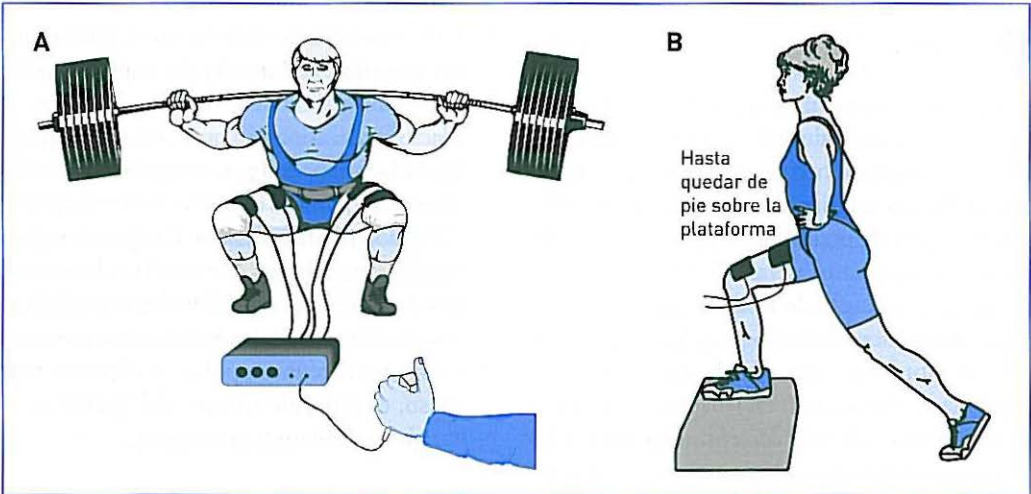


Figura 11-35. A) Potenciación muy intensa que requiere que el estímulo eléctrico se implante durante el esfuerzo voluntario. B) Trabajo voluntario de coordinación, fortalecimiento, propiocepción y equilibrio, que se puede adaptar a un programa de estimulación guiado por los ciclos del estimulador.

para reclutar fibras que permanecían inactivas a pesar del esfuerzo activo. Es primordial en el método de aplicación intencionada, frente a grandes esfuerzos y contracciones, pulsar el interruptor después de iniciar el esfuerzo voluntario y retirar el estímulo eléctrico antes de finalizar el esfuerzo activo.

Los tiempos que deben elegirse para estas aplicaciones dependen, sobre todo, del tipo de fibra muscular que componga el grupo muscular o músculo que debe potenciarse. Se considerará que, cuando un músculo se mantiene muy contraído durante 10 s, agota sus reservas y, a partir de ese tiempo, se halla sometido a isquemia por la compresión local de los vasos que circulan por su interior y próximos, lo que obliga a las fibras a trabajar en anoxia, por lo que entran en metabolismo anaeróbico. Con todo, se sabe que este valor de 10 s tan estandarizado es muy relativo y está en función de personas, pacientes y nivel de entrenamiento.

Entonces (si se dan por buenos los 10 s), si se desea evitar esta circunstancia (sobre todo frente a fuertes contracciones), no es conveniente sobrepasar los 10 s cuando se tratan músculos sometidos a un proceso patológico que influye en el riego y en posibles deficiencias de nutrición celular.

Al hacer referencia a la potenciación muscular, se diferenciará entre aumento de resistencia a la fatiga y aumento de fuerza. Por lo general, se saldrá del terreno del paciente, que se encuentra muy por debajo de sus capacidades normales, para adentrarse en terrenos que rozan la normalidad o corrección de actitudes deportivas. Al moverse en estos parámetros, de forma habitual el objetivo fundamental será el de potenciación y la potenciación procede básicamente de la fibra rápida. Así pues, para potenciar por encima del estado de normalidad, se diseñarán corrientes farádicas destinadas a la fibra media y rápida.

Considerando un cuádriceps, se propone el siguiente método de potenciación intensa:

- Se prepara al paciente (que seguramente será un deportista) en sedestación sobre un banco de potenciación con brazos apoyados para se afiance con las manos.
- Se le fijan dos electrodos amplios sobre la cara anterior del muslo (uno proximal y externo y el otro distal e interno como en la figura 11-34).
- Se ajusta la corriente de Kots con modulaciones cuadradas, de unos 4 a 6 ms, 80 Hz de modulación y portadora de 2.500 Hz.
- Se ajustarán trenes sin tiempo concreto porque se aplicarán en modo intencionado. La rampa será suave de 2 a 3 s (v. Tabla 11-10).
- El fisioterapeuta se preparará para aplicar resistencia intensa al paciente con sus propias manos.
- El objetivo se basa en realizar entre 4 y 6 grandes contracciones activas contra resistencia y reforzadas por la estimulación eléctrica, pretendiendo la contracción global de todo el cuádriceps.
- Se le explica al paciente lo pretendido y se le indican pautas para evitar tirones musculares y paradas bruscas en el esfuerzo, así como que nos avise de molestias durante la técnica.
- Se recomienda previamente, que *la intensidad se eleve hasta un punto en el que se provoque extensión de la rodilla próxima a su angulación completa, pero sin participación activa del paciente*. La subida de intensidad se hará en varios intentos y mientras esté pulsado el mando de aplicación intencionada.
- Con todo preparado, se ordena la extensión activa contra resistencia manual, y se presiona el pulsador para agregar el refuerzo eléctrico. **Es importante sentir que la fuerza aumenta con el estímulo eléctrico**, en su defecto se retoca la intensidad.
- Se permite una extensión lenta y se mantiene el isométrico en extensión a máxima resistencia durante el tiempo que soporte el paciente, que puede estar entre 10 y

20 s (dependiendo de la persona y su entrenamiento). Durante la contracción se le anima con órdenes de insistencia para que no decaiga en el esfuerzo.

- Al percibir el agotamiento, **se retira la estimulación eléctrica y se permite la relajación activa** (por este orden y de forma lenta y controlada) para pasar a un tiempo de restauración de fuerzas y restablecimiento del riego muscular. Este tiempo lo marcará el paciente hasta el momento que se sienta dispuesto al siguiente intento, que suele estar entre 30 y 60 s. Durante la recuperación se comentan con el paciente las posibles incidencias.
- Se ordena de nuevo la contracción activa, presión del pulsador, retoque de intensidad si fuera necesario, mantener el esfuerzo al máximo y al captar el agotamiento del paciente, retirar corriente y relajar lentamente para el nuevo período de relajación y recuperación de fuerzas.
- Repetir esta cadencia hasta notar que el paciente queda agotado y que normalmente no admitirá más de 6 contracciones.

Suele notarse que en los primeros intentos el paciente evoluciona a más tiempo de trabajo y con más fuerza, pero (normalmente a partir del tercero) va decayendo en su capacidad de trabajo y tiempo del esfuerzo.

Esta técnica debe hacerse a días alternos o cada tres días en la misma musculatura. Asimismo, requiere de una primera fase para calentamiento muscular previo y de su tercera fase de vibración muscular para la relajación posterior al esfuerzo.

Si no se siente que la corriente recluta más fibras al esfuerzo activo, la técnica no es válida, y es necesario el retoque de la intensidad al alza.

Elongaciones musculares

Se recomienda consultar también «Potenciación muscular», antes. Cuando los múscu-

los se hallan acortados, se debe a dos razones fundamentales:

- Por contractura o acortamiento de las estructuras activas del músculo.
- Por acortamiento de sus elementos estructurales no contráctiles: fascias, aponeurosis y tramas de tejido conectivo, normalmente causados por aumento y proliferación del colágeno posterior a contracturas, inflamaciones, derrames, inmovilizaciones, etcétera.

En el primer caso, si se desea conseguir elongación, al relajar la contractura, de forma automática se obtendrán resultados.

No hay que olvidar que frente a contracturas agudas o como mecanismo de defensa postural, si el fisioterapeuta se empeña en reducir el tono de defensa, es posible que se causen más problemas de los existentes al desprender la lesión. Además, aunque se consiga el objetivo, en el momento en que el paciente inicie alguna actividad, volverá a sufrir una contractura.

La indicación procede en contracturas crónicas o en aquellas que se detecten como la causa del problema generador de la patología.

Para elongar y conseguir relajación se podría alcanzar como se explica a continuación:

- Con trenes de corta duración (de 0,5 a 2 s), de implantación o subida casi brusca, con pausas también cortas (de 0,5 a 2 s) y pulsos y reposos dentro de los trenes, adaptados a la exploración previa basada en las curvas I/T-A/T.
- También con impulsos vibratorios o pequeños trenes (*burst* del TENS) en frecuencia de 1 a 6 por segundo.
- Estímulo de saturación sensitiva sobre el grupo muscular que debe elongarse, mantenido en elongación pasiva de forma manual.

Frente a relajación con trenes cortos y vibración, la intensidad será moderada, con lo cual se buscan efectos de regularización en el circuito α - γ (o servocontrol) del tono muscular.

El músculo, al comienzo de la sesión, debe hallarse en su recorrido de acortamiento, para ir pasando a posiciones de alargamiento, según se vaya comprobando, palpando con las manos, la evolución y el nivel del tono. Por lo general, se captará mediante palpación cómo se regulariza y disminuye la contractura.

En cuanto al estímulo sensitivo de saturación, éste aparece acompañado por una maniobra manual controlada por el fisioterapeuta (Fig. 11-36) que consiste en lo siguiente:

- Se aplican al paciente electrodos amplios que influyan en todo el grupo muscular que interesa.
- Se elige una corriente de baja frecuencia, de unos 150 Hz en frecuencia fija, o de media frecuencia, como la portadora sin modular a 2.500 Hz.
- Se prepara para aplicarla de forma intencionada por si se debe interrumpir la técnica.
- Se sitúa el músculo en elongación pasiva hasta la primera resistencia y se mantiene el ángulo, evitando reacciones de defensa (Fig. 11-36 A).

- Se pulsa el aplicador intencionado y se eleva la intensidad (p. ej., con la portadora de media frecuencia) hasta que el paciente manifieste un estímulo sensitivo fuerte e, incluso, se inicie una leve contracción muscular.
- Se deja que pase el tiempo y va notándose manualmente si cede la tensión del grupo muscular en elongación sin liberar el pulsador.
- Si se percibe que cede, se avanza de forma suave, ganando rango articular sin aumento de tensión (Fig. 11-36 B) y con el pulsador mantenido.
- En general se requieren varios minutos y retoques de la intensidad por pérdida de estímulo o acomodación sensitiva y motora.
- Se notará un punto en que ya no se avanza y se dará por concluido.

Si el proceso de acortamiento es por contractura, se apreciará una liberación importante. En cambio, si el acortamiento es por retracción miofascial, la liberación será menor y tendrá que acudir a la técnica del segundo caso.

En el segundo caso (acortamiento de estructuras no contráctiles) sobre sus aponeurosis y fascias proliferará el colágeno en todas las

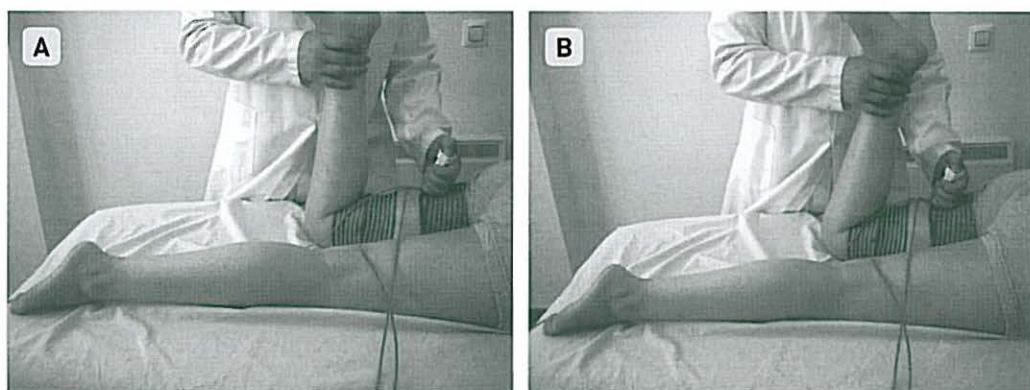


Figura 11-36. A) Inicio de elongación del cuádriceps con la portadora de media frecuencia a 2.500 Hz sin modular. B) Lentamente y pasivamente se gana rango articular (si cede) manteniendo la corriente. En el límite al avance, se retira la corriente y se deshace la maniobra.

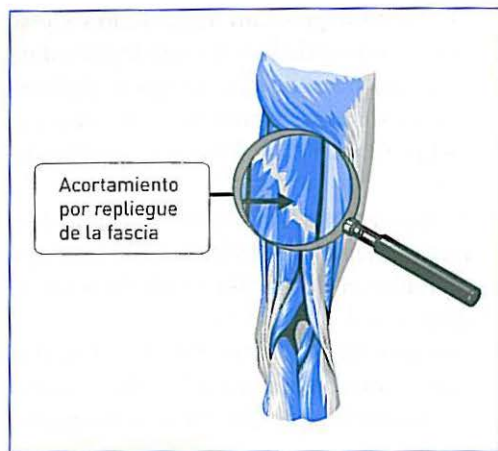


Figura 11-37. Una antigua lesión muscular suele desencadenar fibrosis y acortamientos miofasciales.

direcciones, creará atrapamientos y adherencias en las distintas partes del músculo, entre sí y con otras zonas u órganos próximos, con frecuencia causadas por lesiones musculares que terminan en atrapamientos y aprisionamientos por la red de tejido conjuntivo que proliferó (Fig. 11-37).

No debe olvidarse que las fibras musculares no se originan en la zona de inicio del tendón, más bien la mayoría nace y se inserta entre pequeños tramos o bandas de aponeurosis, las

cuales, en su conjunto, transmitirán la fuerza al tendón.

Se han descrito técnicas electroterápicas destinadas a reforzar la capacidad de elongación miofascial a la vez que se aplican maniobras resistidas o simplemente activas por parte del paciente. Los efectos buscados se basan en producir la contracción de músculos que deben elongarse, al máximo posible, mediante diversas técnicas de elongación:

- Por contracciones isométricas en máxima elongación.
- Mediante contracciones dinámicas excéntricas frente a una resistencia aplicada.
- Resistiendo la contracción de los antagonistas.

El método o maniobra que se elegirá dependerá de cada caso, agudeza o cronicidad de la patología, indicación y/o posibilidades reales de aplicación. Sin embargo, en este caso interesa el refuerzo con trenes de faradización que obligarán a participar en el esfuerzo muscular al máximo de fibras posibles con el fin de traccionar (desde el interior muscular) en el mayor número de puntos de la aponeurosis cuando ésta se halla sometida a máxima tracción y elongación por sus extremos de forma pasiva (Fig. 11-38). Se actuará como se explica:

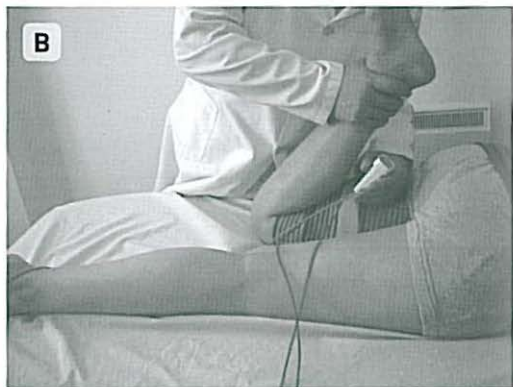
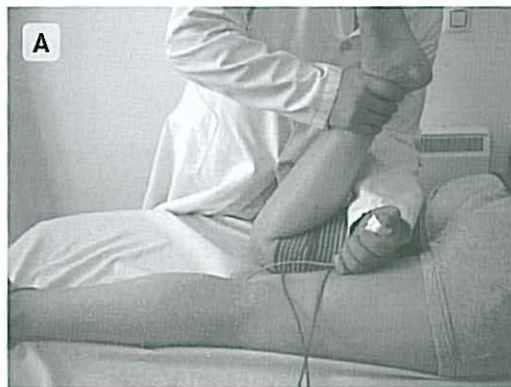


Figura 11-38. A) Elongación del cuádriceps mediante contracción-mantenimiento-relajación reforzada por la corriente en aplicación intencionada durante varios ciclos. B) En cada fase de relajación se intenta ganar la máxima amplitud articular posible sin forzar.

- Se prepara el estimulador con una corriente farádica o con la corriente de Kots.
- Si se ha utilizado la corriente de Kots, en trenes de aplicación intencionada, en 80 Hz, modulación cuadrada de unos 4 ms y si ha sido la corriente farádica, debe consultarse los datos de la [tabla 11-11](#).
- Se aplican electrodos amplios sobre el grupo muscular que debe elongarse de forma bipolar.
- Se coloca al paciente en posición adecuada para realizar la técnica y se lleva el grupo muscular al límite de elongación por su primera resistencia.
- Se explica al paciente lo que se pretende de su colaboración para realizar una técnica de contracción-mantenimiento-relajación reforzada por la corriente, que aumentará la tensión y reclutará más fibras de las que de manera activa consigue el paciente.
- El fisioterapeuta se preparará para dar la orden al paciente de que aplique fuerza muscular a la que se opone resistencia en isometría durante 10-15 s.
- Una vez que se ha estabilizado la tensión entre paciente y terapeuta con el ejercicio isométrico en elongación, sin perder rango articular, se presiona el pulsador con una intensidad tal que aumente la tensión muscular y obligue a reforzar la resistencia ([Fig. 11-38 A](#)).
- Cuando se noten signos de fatiga en el paciente, se retirará la corriente y se ordenará relajar.
- Una vez que esté bien relajado, se intentará ganar rango articular mediante elongación pasiva del grupo muscular hasta encontrar nuevo tope (sin provocar dolor ni respuesta de defensa). El tiempo de descanso será mayor que el tiempo de trabajo.
- Se permitirá un descanso suficiente y, contando con el paciente y su ánimo, se iniciará de nuevo el proceso de contracción con corriente resistida sin permitir pérdida de grados ganados ([Fig. 11-38 B](#)).

- De nuevo se permitirá la relajación y más tarde se procederá a un nuevo intento de ampliar el rango.
- Se repetirá unas cuatro veces y se observará o se medirá el rango ganado.

Es una técnica de esfuerzo por ambas partes, de cierto riesgo e indicada en procesos crónicos y sin riesgos de fracturas óseas o roturas tisulares. Si hubiera roturas, éstas serían microrroturas miofasciales. Sin embargo, esta técnica también puede aplicarse con autocontrol del paciente, aprovechando la gravedad, su fuerza y la imaginación del fisioterapeuta para encontrar el gesto que pone en tensión el grupo muscular que debe elongarse ([Fig. 11-39](#)).

ELECTROESTIMULACIÓN FUNCIONAL EN LESIONADOS MEDULARES Y OTRAS AFECCIONES NEUROLÓGICAS (FES)

Es una técnica destinada a producir contracciones mediante trenes de faradización en grupos musculares que conducirán a movimientos y actividades de la vida diaria de pacientes con parálisis, como hemiplejía, tetraplejía o paraplejía, en el momento y en la forma en que lo desee el paciente, como:



Figura 11-39. Elongación del tríceps sural con autocontrol del propio paciente.

ponerse en pie, andar, coordinar movimientos dificultados por la espasticidad, aprehender un objeto, cambiar de postura, etcétera.

Por ello, a esta técnica se la conoce como estimulación eléctrica funcional (FES, *functional electrical stimulation*).

Es un técnica bastante depurada y, en la actualidad, en plena evolución e investigación, pero requiere una serie de condicionantes y circunstancias que la hagan practicable, como pueden ser:

- La musculatura conservará el circuito de inervación motora entre la médula y el músculo, aunque falte el control central.
- Si existe denervación motora entre la médula y la zona, es impracticable porque la musculatura se comporta como denervada.
- El paciente no debe conservar la sensibilidad (o reducida) en la zona de fijación de electrodos, pues la estimulación es muy intensa y sensitivamente poco soportable.
- La musculatura y el nervio que deben estimularse conservarán actividad motora y nerviosa. Si las pérdidas fueran severas, la estimulación farádica ya no conseguiría la adecuada respuesta de tonificación o potenciación.
- Las zonas anatómicas cercanas deben conservar su integridad morfológica y funcional, evitando complicaciones en músculos, articulaciones, ausencia de fracturas, esguinces, circulación sanguínea, etcétera.
- El paciente no debe sufrir alteraciones cardíacas ni otras enfermedades metabólicas, pues las contracciones serán tan amplias e intensas que requerirán buena salud y capacidad metabólica para resolver las descargas masivas de lactatos y otros derivados del intenso trabajo muscular.
- Previamente a la estimulación con respuesta funcional (para alcanzar los objetivos o actos buscados) se requiere el adecuado entrenamiento durante meses para conseguir potenciación muscular, coordinación, equi-

librio, manejo del equipo por parte del paciente y una buena preparación psicológica de éste.

- Controles médicos periódicos para evitar influencias no deseadas en la piel o en la salud global del paciente.
- Cierta nivel intelectual del paciente, pues necesitará conocer sus limitaciones y superar fracasos, así como cuidarse y manejar un equipo electrónico bastante complejo.

Una vez que se hayan cubierto los requerimientos y la adecuada mentalización del paciente, es necesario el imprescindible entrenamiento en métodos, función buscada, selección de corriente, colocación de electrodos, potenciación previa de los músculos implicados y manejo del estimulador, dado que se convertirá en una aplicación cotidiana y diaria.

Es importante la preparación psicológica del paciente porque hay que evitar falsas esperanzas en los resultados, inculcar constancia en el tratamiento (pues si transcurren unos días sin la aplicación, se producirá un retroceso fatal) y, por último, programar los debidos controles de autoobservación y cuidados para evitar abusos en el uso y los problemas provocados por la técnica.

El electroestimulador usado emite corrientes de alto voltaje de tipo EMS, debe ser seguro en su funcionamiento, complejo, portátil, alimentado con baterías recargables, con cuatro a seis canales de salida, posibilidades amplias de programación y control manual.

Al pensar en un paraplégico al cual se le aplica para realizar la marcha (después de la adecuada preparación muscular y entrenamiento en manejo y equilibrio), dependiendo de cada caso, quizá se necesitará:

- Localizar las mejores zonas de respuesta para los electrodos en extensores de tronco, glúteos, cuádriceps, isquiotibiales, extensores de tobillo y flexores plantares.

- Buscar las mejores frecuencias y tiempos de impulso para cada grupo muscular.
- Diseñar y programar las intensidades de cada canal, cadencias biomecánicas, coordinación en tiempos y alternancias de los distintos grupos musculares para que la sucesión de estímulos genere el trabajo coordinado que conduzca a la secuencia de movimientos necesarios para la marcha.
- Colocar al paciente en un andador, al cual se le construyen (solidarios o cerca de las zonas de aprehensión mediante unos cables) pulsadores que inicien o detengan la maniobra, velocidad de la marcha, alternancia en cambio de pierna, tiempo de espera en la puesta en pie antes de andar, etcétera.

El proceso es lento y requiere gran esfuerzo; da la impresión de marcha robotizada y permite un pequeño paseo (más amplio cuanto mejor es el entrenamiento). Sin embargo, aunque en apariencia pudiera parecer poco útil, sus efectos más inmediatos e importantes se centran en el trofismo de los tejidos, en la circulación sanguínea y linfática, en la coordinación del resto del cuerpo, en las influencias sobre los sistemas digestivos y renales, osteoporosis, etcétera.

Las corrientes usadas por el sofisticado y pequeño estimulador suelen ser bifásicas, por lo que se evita el componente galvánico y la

agresión a la piel, con diferencias de potencial importantes, de impulsos bastante cortos (menos de 1 ms) y frecuencias regulables (entre 20 y 100 Hz) para adaptarse al momento biológico de cada músculo en su tiempo de repolarización, el cual puede hallarse por experimentación con la regulación de la frecuencia o mediante la exploración neuromuscular con curvas I/T-A/T.

Por el momento, las esperanzas de que los lesionados medulares consigan grandes cambios en su vida y actividades cotidianas son limitadas mientras la estimulación se aplique por vía transcutánea. Se están creando bastantes esperanzas con las investigaciones dirigidas a la implantación quirúrgica de microelectrodos en placas motoras, plexos o raíces nerviosas, que generarían el trabajo muscular con mayor precisión y menores intensidades eléctricas.

De forma natural, el fisioterapeuta que necesite aplicar esta técnica tendrá que conocer muy bien la electroterapia y sus bases eléctricas, la fisiología muscular y nerviosa, tener un buen dominio de la colocación de los electrodos en los mejores puntos y, sobre todo, de la biomecánica o la coordinación del movimiento. Se abren nuevos caminos y retos que pueden abrir la vía a nuevas técnicas.



Autoevaluación

Material complementario en el sitio web

- Autoevaluación
- Vídeos:
 - 11-1. Pantalla farádica
 - 11-2. Farádica
 - 11-3. Neofarádica
 - 11-4. Trenes de alto voltaje
 - 11-5. Pantalla de corriente de Kots
 - 11-6. Trenes de Kots
 - 11-7. Modulación triangular en Kots



12

Media frecuencia

Contenido

- Conceptos básicos de la media frecuencia
- Clasificación de la media frecuencia
- Comparación de las propiedades de la media frecuencia con las de la baja frecuencia
- Explicación del fenómeno de modulación o interferencia
- Corrientes interferenciales tetrapolares y las (mal llamadas) corrientes interferenciales bipolares
- Trenes de media frecuencia (corriente de Kots)
- Aplicaciones terapéuticas de la media frecuencia
- Sugerencia de diseño de un hipotético equipo de media frecuencia

Objetivos de aprendizaje

- Comprender el fenómeno de la modulación.
- Conocer la banda de frecuencias y los límites de la media frecuencia.
- Diferenciar el concepto de portadora del concepto de modulación.
- Comprender el efecto de batido entre dos corrientes.
- Entender los efectos de la portadora y de la modulación.
- Asimilar el concepto de contorno y sus posibilidades terapéuticas.
- Aprender los tipos de modulación y la «modulación cero», por su potente efecto analgésico.
- Conocer las indicaciones, precauciones y contraindicaciones de la media frecuencia.

Síntesis conceptual

- ✓ En este capítulo se trata de abarcar con cierta profundidad (paso a paso) la media frecuencia aun a riesgo de ser reiterativo con algunas técnicas ya tratadas en otros capítulos, pero con el matiz propio de esta variante de corrientes.
- ✓ Se trata de ilustrar con claridad conceptos sobre la media frecuencia que no siempre están claros sobre el efecto de batido de corrientes, sobre las modulaciones y sus características, así como sobre sus efectos biológicos.
- ✓ Se describe un hipotético equipo de media frecuencia a modo de guía para los interesados en diseños y para que el lector comprenda conceptos que se puede encontrar en otros equipos, así como a modo de refuerzo de conceptos según se avanza en su descripción.
- ✓ Se plantea el tema de la corriente «modulación 0» o «mega-A», sobre todo para describirla y explicar sus posibilidades de uso y manejo.
- ✓ Se desarrollan algunas aplicaciones típicas y se adjuntan sus indicaciones, precauciones y contraindicaciones.

MEDIA FRECUENCIA, CORRIENTES INTERFERENCIALES Y CORRIENTE DE KOTS

Media frecuencia

Después de haber tratado, capítulo a capítulo, la baja frecuencia, se inicia en éste la descripción de la media frecuencia aunque cada vez las diferencias entre ambas son menores, pues los equipos estimuladores de baja frecuencia están ampliando sus posibilidades sobre la base de las propiedades de la media frecuencia y, además, algunos ya incluyen la frecuencia de 5.000 Hz. Basta con seleccionar pulsos de 0,1 ms y reposos de 0,1 ms. También en baja frecuencia se dispone de la corriente galvánica pulsada que usa frecuencias de la banda de media frecuencia.

La media frecuencia se caracteriza por utilizar ondas alternas sinusoidales con frecuencias ajustables entre 2.000 y 10.000 Hz, como portadora (Fig. 12-1), que después se modulará de varias formas.

En el capítulo 2 se establece la división entre la baja, la media y la alta frecuencia dentro de los siguientes límites:

- Baja frecuencia: de (0)1 a 1.000 Hz.
- Media frecuencia: de 1.000 a 500.000 Hz (de 2.000 a 10.000 Hz en la práctica).
- Alta frecuencia: de 500.000 Hz en adelante, hasta el límite con los infrarrojos.
- Banda de la luz.

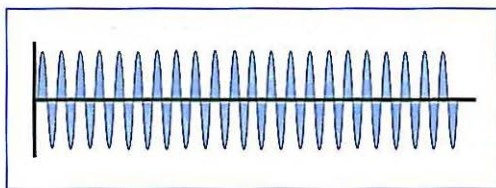


Figura 12-1. Corriente alterna sinusoidal de media frecuencia o portadora de media frecuencia sin modular.

Además, la media frecuencia evoluciona mucho y va introduciendo propiedades características de la baja frecuencia, como trenes para potenciación muscular o modulaciones aisladas para el tratamiento de parálisis periférica. Por el momento se excluyen los efectos galvánicos, fáciles de conseguir si las corrientes portadoras de media frecuencia (moduladas en baja frecuencia o interferenciales) se someten al filtrado de un diodo (Fig. 12-2).

Como se describirá con más detalle, el recurso de la media frecuencia, en su origen, intenta aplicar intensidades importantes a los pacientes sin que éstos manifiesten molestias al paso de la corriente.

Se observó que, al aumentar las frecuencias, disminuía la impedancia de los tejidos, así como los efectos sensitivos y motores; así pues, el paso de la corriente se convirtió en un estímulo de molestia muy débil, perfectamente soportable, aunque se había aumentado de forma importante la intensidad.

Este fenómeno proporcionó al Dr. Nemec la idea para aprovechar estas condiciones y, sobre la base del efecto batido de dos frecuencias que se entremezclan, diseñó el equipo y la metodología que consistía en aplicar dos circuitos cruzados para convertir las clásicas aplicaciones bipolares de baja frecuencia en tetrapolares de media frecuencia (Fig. 12-3). Con posterioridad, el método evolucionó y también se pudieron aplicar corrientes bipolares de media

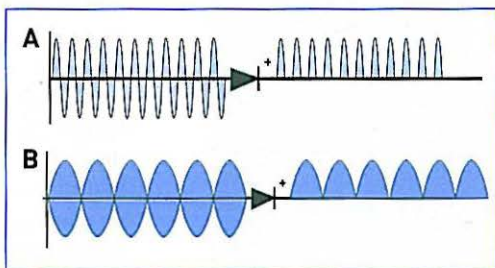
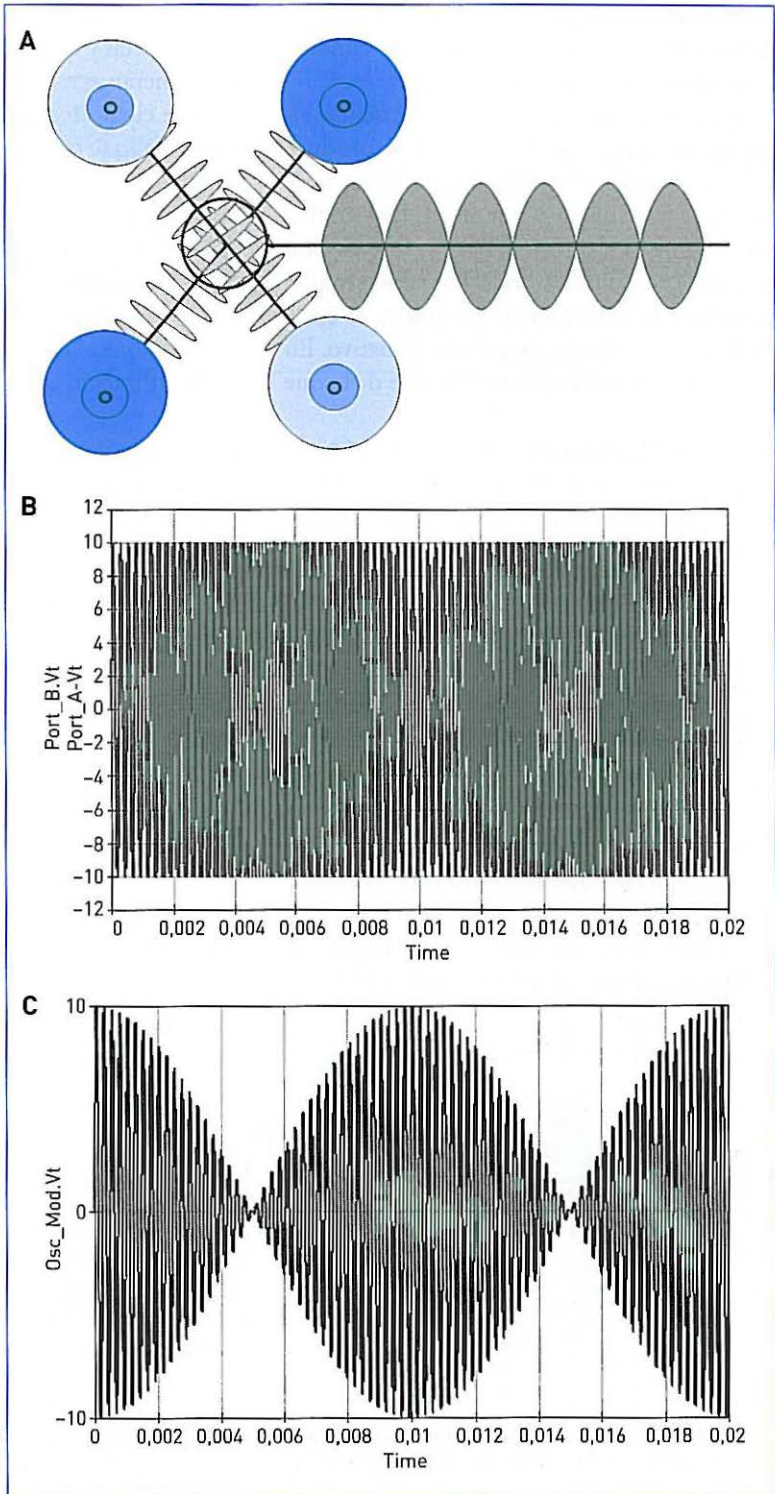


Figura 12-2. A) La portadora es filtrada por un diodo y permanecen sólo las ondas [+]. B) La portadora modulada se somete al diodo y permanece la parte [+] de la modulación.

Figura 12-3. A) El cruce de dos circuitos con corrientes alternas de media frecuencia produce el efecto de batido, interferencia o modulación. B) Se representa una portadora sin modular durante 20 ms. C) También durante 20 ms la portadora está modulada en 100 Hz.



frecuencia. Dado que el Dr. Nemec las introdujo en el mercado, a estas corrientes también se las denomina nemectrodínicas.

Este efecto de batido de dos corrientes alternas (de diferente frecuencia) se produce porque, cuando coinciden dos ondas en oposición de fase (una $[+]$ con otra $[-]$) se anulan por completo; si la coincidencia en oposición de fase es parcial, la anulación también resulta parcial; si la coincidencia de ambas es en la misma fase, se produce un efecto sumativo. En la figura 12-4 se representa el detalle de lo que

ocurre durante 2 m; en A las dos portadoras superpuestas y en B, el inicio de la modulación que generan.

Este ciclo de entradas en fase y en desfase continuado se repite un número de veces equivalente a la resta entre los valores de las frecuencias que se interfieren.



Vídeo 12-1. Desfase entre ondas

Dado que el destino de la media frecuencia es su utilización como corriente portadora de

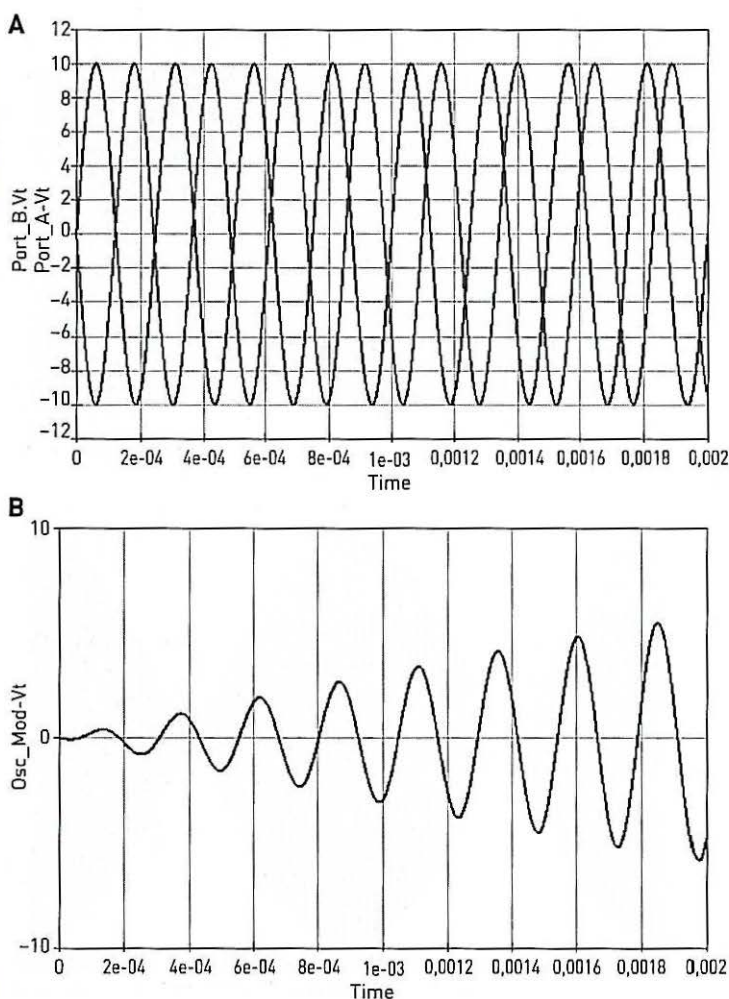
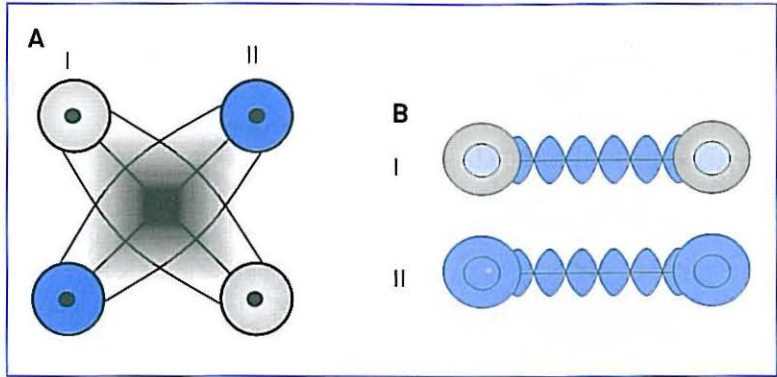


Figura 12-4. Detalle de lo que ocurre cuando dos frecuencias diferentes se interfieren. A) Las dos portadoras al principio se oponen por completo y se anulan, pero van perdiendo esa oposición de forma progresiva. B) Detalle del inicio de la onda de modulación resultante, de manera que a la izquierda tiende a 0 de energía y va aumentando progresivamente.

Figura 12-5. A) Aplicación cruzada tetrapolar para que las corrientes se modulen en el interior del paciente. B) Aplicación bipolar con dos canales independientes ya modulados.



fácil penetración para después transformarla en modulaciones de baja frecuencia «aprovechables», puede obtenerse esta transformación de dos formas:

- *En el interior del organismo* mediante interferencia de dos circuitos con una aplicación tetrapolar cruzada (Fig. 12-5).
- *En el interior del aparato*, con lo que por ambos circuitos aparecerá la interferencia o modulación ya producida y se dispondrá de la opción de aplicarla a cada circuito de forma independiente o bipolar.

 Vídeos 12-2 y 12-3. Portadora de 4000 Hz y Portadora modulada

Sistema de fijación de electrodos

Dado que esta modalidad de electroterapia requiere, con frecuencia, el uso simultáneo de cuatro electrodos y es realmente complejo fijarlos en determinadas zonas corporales, el Dr. Nemec diseñó un ingenioso sistema para mantener los electrodos fijos a la piel sin requerir bandas fijadoras. Creó el sistema de vacío relativo sobre unas ventosas de goma o silicona que se adhieren por succión, debido al vacío relativo pero suficiente como para que se mantengan firmes sobre la piel sin caerse, aunque el paciente se mueva (Fig. 12-6). Dichas ventosas, además de transmitir la succión

del aire contenido en su interior, transmiten la corriente a través de una placa metálica separada de la piel por su correspondiente esponjilla humedecida. Ni que decir tiene que el cable que las une al estimulador es cable y es tubo para permitir el paso de corriente y el paso del aire succionado, respectivamente.

Dado que estas corrientes pierden el efecto galvánico o de posible electrólisis, la parte metálica del electrodo suelen ser de acero inoxidable.

Estos electrodos ventosa permiten la separación y recolocación sobre otra zona, tantas veces como se desee, aunque la corriente esté pasando, sin que moleste al paciente. Ello se debe al hecho de que los estimuladores de media frecuencia trabajan «por lo general» en



Figura 12-6. Conjunto de electrodo ventosa con su parte metálica y la esponjilla que se interpone entre el metal y el paciente.

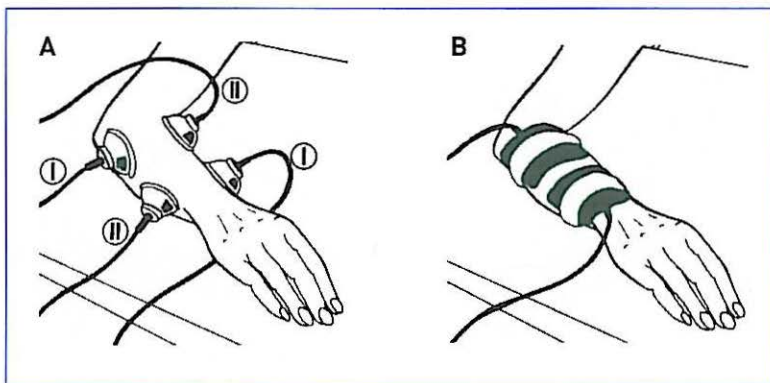


Figura 12-7. A) Aplicación cruzada tetrapolar con electrodos ventosa. B) Aplicación bipolar con un canal y electrodos estándar.

tensión o voltaje constante (VC), al contrario que los de baja frecuencia, que lo hacen en intensidad o corriente constante (CC).

Por la aplicación mediante ventosas, popularmente se los conoce a estos electroestimuladores con el sobrenombre de las «ventosas». No obstante, se mantiene el sistema clásico de electrodos convencionales sin succión y destinados a ser fijados por bandas elásticas, como en la baja frecuencia (Fig. 12-7). Más adelante se describirán otras modalidades de electrodos.

Corrientes interferenciales clásicas

Las corrientes interferenciales clásicas proceden de una portadora con corrientes alternas, sinusoi-

dales de media frecuencia, de unos 4.000 Hz en dos circuitos eléctricos que se cruzan, se mezclan o interfieren entre sí, con la característica básica de que entre ambos circuitos tiene que existir una diferencia en frecuencias (por encima o por debajo) de ± 100 Hz en los equipos de primera generación y de ± 250 Hz en los más modernos (Fig. 12-8), circunstancia que es aprovechada para obtener una nueva frecuencia (de modulación), equivalente a la diferencia o resta entre las dos originales. Este proceso se debe al efecto de interferencia o batido referido con anterioridad.

Esta forma de tratamiento por corrientes interferenciales clásicas, al realizarse con dos circuitos eléctricos, obliga a usar cuatro electrodos. Los últimos diseños se están fa-

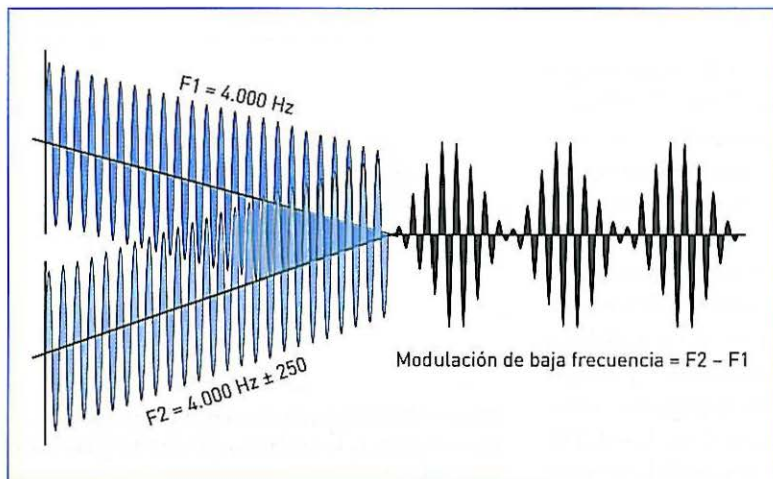
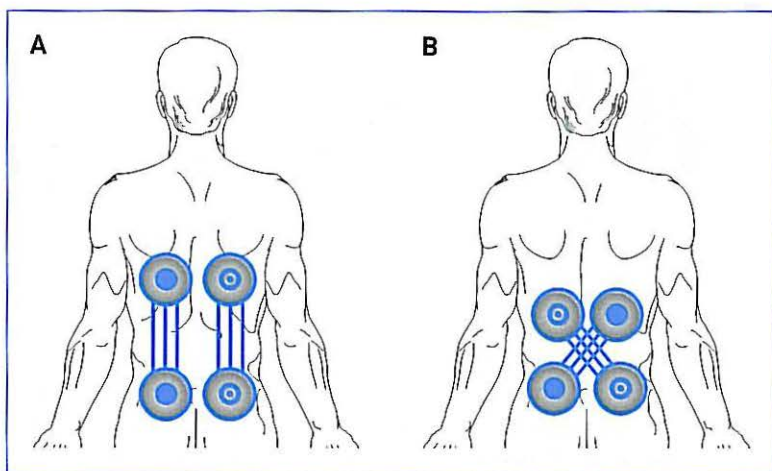


Figura 12-8. Dos frecuencias se interfieren y generan la modulación con frecuencia equivalente a la resta entre las frecuencias originales.

Figura 12-9. A) Aplicación doble bipolar ya modulada. B) Aplicación clásica tetrapolar para modular en el paciente.



bricando con frecuencia portadora regulable entre 2.000 y 10.000 Hz. Las bajas frecuencias así conseguidas proporcionarán los efectos fisiológicos pretendidos.

En el efecto de interferencia, como se expuso en el capítulo 1 y en este mismo, se aprecia que, cuando dos ondas coinciden en el mismo tiempo con la misma polaridad, se superponen entre sí y originan una nueva onda de mayor energía que las originales (Fig. 12-4). Sin embargo, si coinciden dos ondas de signo opuesto e igual amplitud, éstas se anulan de forma mutua y dejan un espacio a 0 de energía. Si las dos ondas coincidentes son de signo opuesto, pero una es mayor que la otra, aparecerá la nueva onda de amplitud menor, equivalente a la resta entre las dos amplitudes de onda coincidentes; por ejemplo, $+50 \text{ V} - (-60 \text{ V}) = -10 \text{ V}$.

Así pues, dado que en los dos circuitos portadores de 4.000 Hz (± 250) coinciden en abundantes ocasiones como anulativas, la resultante será de 0 a 250 Hz (Fig. 12-8); por ejemplo, $4.000 - 3.920 = 80 \text{ Hz}$ de batido.

Ésta es la forma clásica para conseguir las corrientes interferenciales originales que se generan en el interior del organismo al cruzar dos circuitos (cuatro electrodos). Sin embargo, se ha evolucionado a aplicaciones donde la interferencia, efecto batido o modulación de la

media frecuencia, se aplica de forma bipolar, es decir, la modulación se consigue dentro del equipo y se aplica ya modulada con el primer circuito, el segundo o ambos independientes.

Entonces, cuando se desea conseguir una corriente interferencial clásica o que se modulen los dos circuitos entre sí dentro del organismo, de forma indefectible se hará referencia a *media frecuencia tetrapolar*. En caso de aplicar media frecuencia ya modulada dentro del equipo (no sobre el paciente), se hará referencia a *media frecuencia bipolar* aunque se estén utilizando los cuatro electrodos, pues se considerará que cada dos electrodos (en general, del mismo color) son un circuito que trabaja de manera independiente (Fig. 12-9).



Videos 12-4 y 12-5. Pantalla de interferencias tetrapolares y Pantalla AMF bipolar

Tipos de modulación

En cuanto a la forma de modulación, en media frecuencia se emplean tres tipos fundamentales:

- *Modulación sinusoidal*, la más habitual y característica de las corrientes interferenciales clásicas (Fig. 12-10 A).

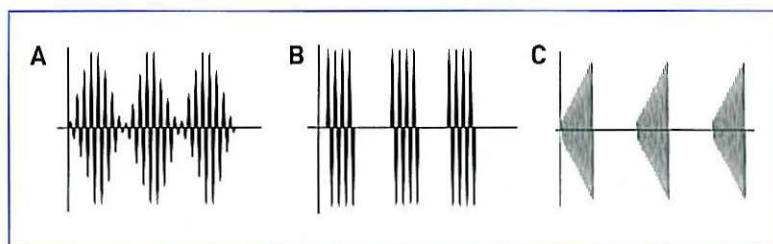


Figura 12-10. A) Modulación sinusoidal. B) Modulación cuadrada. C) Modulación triangular.

- *Modulación cuadrangular*, usada para el fortalecimiento muscular al formar trenes con las corrientes de Kots (Fig. 12-10 B).
- *Modulación triangular*, usada para el tratamiento de las denervaciones periféricas (Fig. 12-10 C).

En cuanto al conjunto o agrupamiento de las ondas, el batido o interferencia de dos circuitos próximos a 4.000 Hz da como resultado una gama de nuevas corrientes que ya se han clasificado como:

- Moduladas en amplitud (AM).
- Moduladas en amplitud y frecuencia de manera simultánea (AMF).

Modulación en amplitud implica que la frecuencia es fija, pues sólo se están generando cambios o modulaciones en sentido vertical (AM; Fig. 12-11 A).

Modulación en frecuencia (sinónimo de cambios en la frecuencia) implica que de manera necesaria existirán barridos de frecuencia, pues aparecen cambios o modulaciones en sentido vertical y horizontal al unísono (AMF; Fig. 12-11 B).



Videos 12-6 y 12-7. Modulaciones de bipolares e Imperfecciones de media frecuencia (curiosidad que muestra deficiencias en la generación de la corriente con el archivo)

Los equipos para aplicar media frecuencia en modo clásico dentro del paciente o corrientes moduladas en el mismo equipo se emplean para ajustar corriente con:

- Modulaciones en una frecuencia fija y mantenida durante la sesión (Fig. 12-11 A).

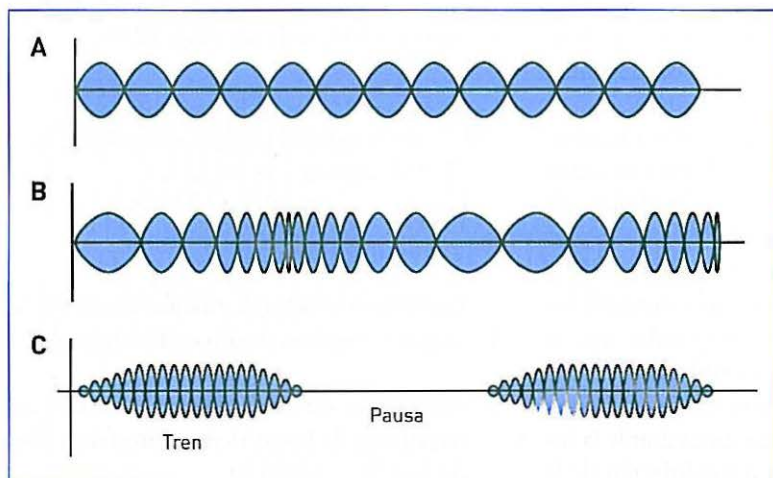
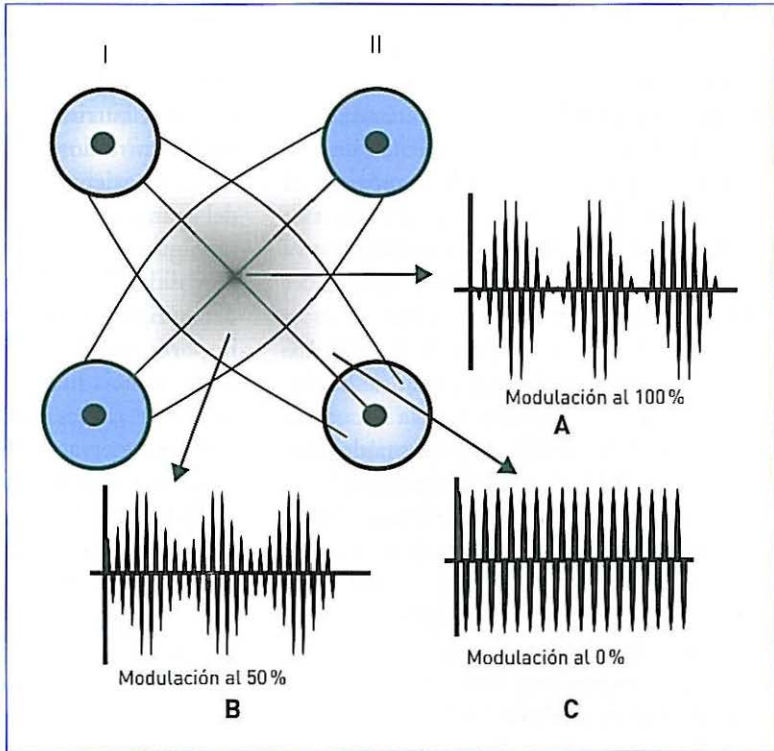


Figura 12-11. A) Modulación sólo en amplitud (AM). B) Modulación en amplitud y en frecuencia (AMF). C) Modulación en trenes o secuencias.

Figura 12-12. A) Modulación en amplitud al 100 %. B) Modulación en amplitud al 50 %. C) Modulación en amplitud al 0 %; en este caso la portadora no se modula.



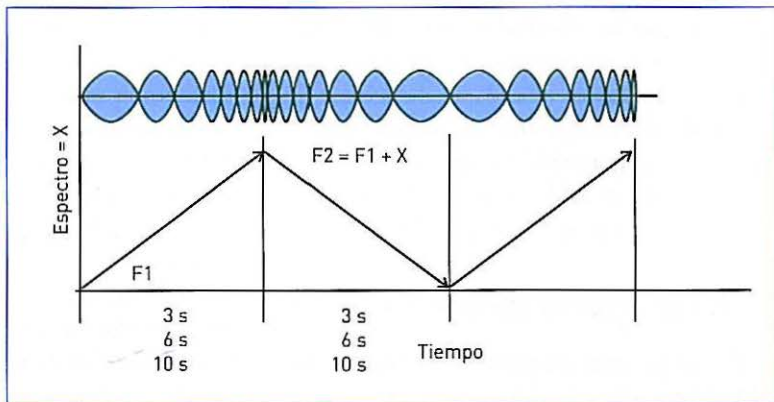
- Modulaciones en barridos de frecuencia durante toda la sesión (Fig. 12-11 B).
- Modulaciones agrupadas en trenes o ráfagas con sus pausas (Fig. 12-11 C).

Más adelante se detallarán las modificaciones sobre estos tres modos básicos.

Nivel de modulación en AM

Si se toma como referencia una aplicación tetrapolar (Fig. 12-12), se considera que la frecuencia de la corriente portadora sufre disminuciones en su intensidad desde su máximo hasta alcanzar el 0 para volver a elevarse, con una

Figura 12-13. Contorno triangular. Cambios constantes de frecuencia desde un mínimo hasta el máximo, volviendo sin detenerse en los extremos.



modulación al 100 % (Fig. 12-12 A). Sin embargo, puede permanecer sin variaciones en su intensidad, modulación al 0 % (Fig. 12-12 C). En otras circunstancias, se encontrarán diferentes niveles de modulación dependiendo de si se toman como referencia las medidas próximas al centro del batido o junto a un electrodo, pues en la zona central la interferencia es máxima y se va perdiendo de forma progresiva hasta desaparecer cerca de los electrodos (Fig. 12-12 B).

Si se presta atención al detalle de la figura 13-12 C, se observará que el porcentaje de modulación es 0, lo que implicará que la frecuencia de modulación desaparece. Entonces podrá afirmarse que en 0 Hz de modulación hay 0 % de modulación y viceversa. La modulación 0 significa que la portadora está presente de forma íntegra y sin oscilaciones en porcentaje ni generación de frecuencia de modulación. Alguna discusión ha generado la polémica sobre la modulación 0. La portadora no puede tener frecuencia 0 Hz porque desaparece la corriente como tal, pero 0 Hz de modulación puede producirse. De hecho es la llamada corriente mega-A con 5.000 Hz.

A causa de esta doble circunstancia (en aplicaciones tetrapolares), el paciente soporta en el campo de tratamiento los efectos de la modulación y los efectos de la portadora sin modular. ¿Cuál es la más terapéutica? Más adelante se tratará este enfoque. Sin embargo, cuando se realizan tratamientos bipolares, en los cuales la interferencia o modulación se realiza dentro del equipo, la modulación siempre emergerá por los electrodos con el 100 % de modulación y, en este caso, la portadora sólo está presente dentro de cada modulación.

Esta doble frecuencia que se aplica al paciente (frecuencia de portadora y frecuencia de modulación) genera un doble efecto sensitivo y motor, sin entrar en otras cuestiones por el momento.

Diferentes sistemas de media frecuencia

En los párrafos anteriores se considera que AM significa una modulación con frecuencia

fija y AMF modulaciones en amplitud y frecuencia de manera simultánea. Como AMF implica cambios de frecuencia, se tienen que producir barridos en la frecuencia de ida y vuelta entre dos valores, tanto si se generan sobre el paciente como si se consiguen dentro del aparato.

Algunos fabricantes suelen referirse a la modalidad de AMF cuando se generan dentro del equipo y se aplican en modo bipolar, sin importar que la corriente se emita en modo de frecuencia fija, en modo de barridos o en modo de trenes. Estos mismos fabricantes también reservan la abreviatura de IF para las corrientes interferenciales clásicas, donde se modulan las corrientes dentro de los tejidos y en modo tetrapolar, sin diferenciar que las corrientes emerjan por los electrodos para modularse como frecuencia fija, en trenes o en barridos.

Asimismo, la nomenclatura de manejo y denominación de las corrientes generadas tampoco coincide entre fabricantes. De esta guisa, se encontrarán diferencias entre los equipos de primera generación, para corrientes interferenciales clásicas, y los actuales aparatos. Además, las diferencias entre fabricantes son tan llamativas que, en ocasiones, los conceptos aprendidos con un equipo no se pueden trasladar a otro de diferente fabricación.

Media frecuencia de primera generación

Los aparatos diseñados por el equipo del Dr. Nemec para corrientes interferenciales clásicas con modulación sinusoidal consistían en dos circuitos generadores de 4.000 Hz y 4.000 ± 100 Hz para interferirlos de forma tetrapolar sobre el paciente. De esta manera se aplicaban barridos entre dos límites o frecuencia fija.

La frecuencia de modulación fija (AM) se podía regular entre 0 y 100 Hz.

Los barridos de frecuencia más habituales (AMF) variaban de unos equipos a otros, pero

podían ser de 0 a 10 Hz; de 0 a 25 Hz; de 0 a 50 Hz; de 0 a 100 Hz; de 50 a 100 Hz; de 80 a 100 Hz, y contaban con la posibilidad de establecer a mano una frecuencia fija.

El tiempo transcurrido entre la frecuencia mínima, el ascenso hasta la máxima y el retorno a la mínima solía fijarse en ± 10 s.

La aplicación de un único circuito (dos electrodos) inyectaba la portadora de media frecuencia con modulación al 0%. Todavía no existía la modulación generada dentro del equipo.

Media frecuencia de segunda generación

Más adelante, se añadieron características que permitían las aplicaciones tetrapolares y bipolares, es decir, interferencia dentro del paciente e interferencia dentro del aparato. Las condiciones de barridos y de frecuencia fija se mantenían o se mejoraban. La modulación continuaba siendo sinusoidal.

La portadora ya comenzaba a ser ajustable entre 2.000 y 8.000 Hz. La posibilidad de formar trenes todavía no era posible, salvo alguna excepción o truco para formarlos. Tampoco incluían las corrientes de Kots, pues éstas se caracterizan por ser trenes con modulación cuadrangular. Algún equipo se fabricó con la posibilidad de convertir la corriente alterna en corriente con polaridad si se intercalaba un diodo; se afirmaba que era posible «aplicar iontoforesis con corrientes interferenciales».

Media frecuencia de tercera generación

Se inicia la fabricación de equipos que aportan multitud de posibilidades para mejorar los tratamientos y corrientes generadas, lo que permite combinaciones que en algunas marcas ni tan siquiera tienen lógica. Esta generación se refiere a los equipos actuales.

En los aparatos de última generación se han ampliado los límites de frecuencia de modulación hasta 200, 250, 300 e, incluso, 500 Hz, así como la portadora, también regulable entre

2.000 y 10.000 Hz. Las modulaciones, al menos, pueden ser cuadrangulares, triangulares y sinusoidales.

Los límites de barridos se establecen a mano entre dos frecuencias deseadas. Los tiempos de ascenso y descenso entre los límites de frecuencia son ajustables y los saltos de un límite a otro del barrido pueden ser muy progresivos, moderados o bruscos, lo que tiene como consecuencia otro nuevo concepto: el de *contorno*, desarrollado más adelante.

Al combinar estas variantes entre sí, se genera multitud de posibilidades. Lógicamente, se deberían configurar las que obedezcan a razones fisiológicas. Además, las casas fabricantes no establecen los mismos sistemas de ajuste ni de nomenclatura, pues se llega a nombrar la misma función de distinta forma o la misma nomenclatura se utiliza para distintas funciones. Este texto pretende aclarar los conceptos fundamentales sin entrar a polemizar sobre cuál es la más adecuada.

Ejemplo de lo referido puede ser la siguiente situación: en unos sistemas de trabajo, para establecer un barrido entre dos frecuencias o límites de modulación, por ejemplo, de 80 a 100 Hz, se regula la frecuencia menor (80 Hz) y la frecuencia mayor (100 Hz) para que el equipo ascienda y descienda de forma repetida entre ambas. Otras casas establecen un manejo basado en regular la frecuencia menor (80 Hz) y un espectro (de 20 Hz en este caso) con el fin de que el aparato oscile entre los 80 Hz y ascienda 20 Hz más, (llegando a los 100 Hz sin nombrarlos). Son distintos sistemas, pero con iguales resultados. No debe olvidarse que hacer referencia a barridos es lo mismo que referirse a AMF.

Aplicaciones tetrapolares con vector y sin él

En primer lugar debe aclararse que el fenómeno del vector no es propio de las aplicaciones bipolares con un solo canal ni de las

bipolares con dos canales; sólo puede producirse en las aplicaciones tetrapolares. Algún experimento se ha planteado con aplicaciones a doble bipolar, pero puede resultar una divagación o, tal vez, podrían producir una sorpresa los nuevos efectos terapéuticos conseguidos por «modulaciones de modulaciones», valga la redundancia.

Ya se tiene claro que, al cruzar dos circuitos, se genera una zona de interferencia o de modulación dentro del paciente, que depende de la resistencia de los tejidos y del centro «teórico» de los cuatro electrodos. Puesto que estas variables son incontrolables por razones anatómicas y comportamiento tisular, puede ocurrir que la interferencia no se consiga precisamente en la localización anatómica pretendida.

Para centrar la zona de batido justo en la porción corporal pretendida, se dispone de dos opciones para resolverlo:

- el equilibrio manual de las intensidades y
- activar el vector.

Si se manipulan las intensidades de uno y de otro canal y con la ayuda del paciente, podría llegar a localizarse el efecto en la zona pretendida. Si la respuesta que se busca es motora, es objetivable; pero si es sensitiva, la subjetividad del paciente y la dificultad de éste para informar de una sensación poco habitual, dejará con la duda de si se ha conseguido o se ha fracasado en el ajuste.

Al activar la opción del vector, se pondrá en funcionamiento un sistema automático de variaciones que provocan que la zona de interferencia se desplace por el campo de tratamiento, lo que garantiza que, al menos cada cierto tiempo, la zona objetivo será afectada de lleno.

En los aparatos de media frecuencia se encontrarán varios tipos de vectores: vector dinámico, vector coplanar, vector isoplanar y vector rotatorio.

El primero y el último son los más frecuentes. El dinámico consiste en un equilibrio automático de la intensidad cada cierto tiempo (entre cada 5 a 10 s) que provoca en el paciente que el campo eléctrico desplace su predominio de un canal al otro de forma alternativa. El rotatorio es muy interesante y produce efectos terapéuticos muy llamativos. Causa en el paciente la sensación de que la corriente gira dentro de él. Es ajustable en velocidad de giro y en el arco que debe cubrirse, que puede ser parcial o completo.

El vector rotatorio suele tener la propiedad de que, en el giro circular completo, aparece un arco que reactiva el dolor y otro arco en el cual se anula por completo; por ello se busca la posibilidad de localizar el «arco sin dolor» y evitar que pase por el rango de grados que provoca dolor.



Videos 12-8, 12-9 y 12-10. Vector isoplanar, Vector rotatorio 1 y Vector rotatorio 2

Barridos de contorno triangular

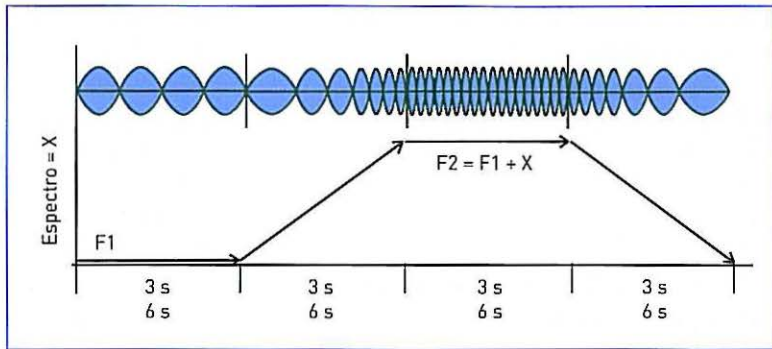
Se puede encontrar el clásico barrido (espectro para otros fabricantes) que oscila, en un vaivén monótono y homogéneo, desde una frecuencia mínima hasta la máxima para volver a ésa, pasando por todas las frecuencias del espectro en un tiempo determinado y marcando un contorno triangular (Fig. 12-13).

Se encontrarán dos valores como frecuencias límites, la mínima y la máxima del barrido o espectro, junto con un gráfico en el cual se reflejen dos cantidades que forman un contorno triangular, como los tres ejemplos de la figura, 3:3; 6:6 o 10:10; 3:3 son los 3 s de ascenso seguidos de los otros 3 s de descenso, cadencia que se repite de manera indefinida.

Barridos de contorno trapezoidal

Asimismo, también es habitual disponer de la posibilidad de regular barridos o espectros

Figura 12-14. Contorno trapezoidal. Con un tiempo en la frecuencia baja, un tiempo de cambio y un tiempo en la frecuencia alta.



entre dos frecuencias, mínima y máxima, con un tiempo detenido en la frecuencia mínima, otro tiempo para ascender hasta la frecuencia máxima, otro tercer período para mantenerse en la frecuencia máxima y, por fin, un cuarto tiempo para descender a la frecuencia mínima (Fig. 12-14). El ascenso y el descenso en general son iguales.

Así, en el gráfico se pueden apreciar las dos frecuencias fijas (mínima y máxima) que se mantienen los segundos programados. Entre las líneas horizontales planas se dibujan las dos de ascenso y descenso, respectivamente, y de esta manera se forma el contorno trapezoidal de valores iguales, como en los dos ejemplos, 3:3:3 y 6:6:6.

Algunos fabricantes añaden la posibilidad de ajustar los ascensos y descensos, al igual que

el mantenimiento en frecuencia mínima y en frecuencia máxima mediante un porcentaje. Más adelante se entrará en detalle sobre este sistema.

Barridos de contorno cuadrangular

Otra modalidad de aplicar barridos o espectros entre dos frecuencias se basa en el salto brusco entre dos frecuencias ajustadas, una como mínima y otra como máxima. De esta forma, se observará una frecuencia fija durante unos segundos, un ascenso brusco hasta la frecuencia máxima durante 0 s y un mantenimiento en la frecuencia alta, para volver bruscamente a la mínima (Fig. 12-15). El contorno, en este caso, será cuadrangular,

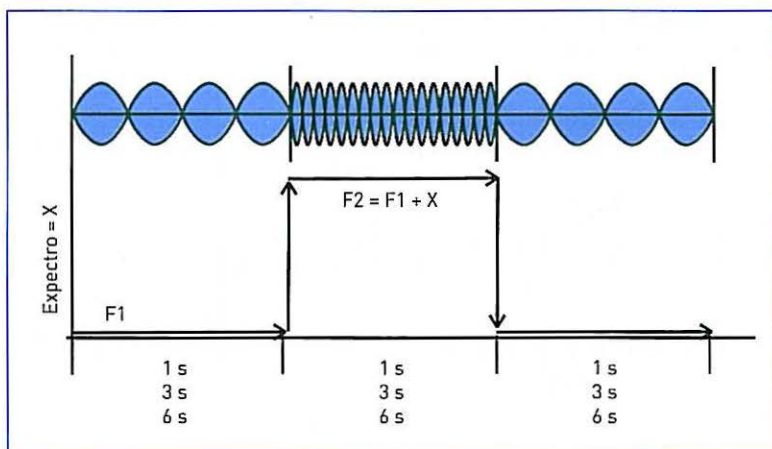


Figura 12-15. Contorno cuadrangular. Con un tiempo en la frecuencia baja, ningún tiempo de cambio y un tiempo en la frecuencia alta.

debido al ascenso y descenso brusco entre las frecuencias límite.



Vídeo 12-11. Contornos MdF

Sistema de contorno con ajustes de porcentajes

Existe una modalidad de ajuste de los contornos basada en lo siguiente:

- Se considerará un ciclo completo al mismo tiempo que transcurre desde que se inicia la frecuencia mínima hasta que se alcanza la frecuencia máxima (Fig. 12-16).
- Este tiempo atribuido de forma voluntaria y manual al ciclo se repetirá igual desde que se inicia la frecuencia más alta hasta que se desciende al valor más bajo.
- Los ajustes que se efectúan en el primero afectan al segundo y a todos los demás.

- El segundo ajuste consiste en atribuir un porcentaje del tiempo marcado para el ciclo (en la Fig. 12-16 es de 10 s) para que se realice el barrido de frecuencia que cambia de la baja a la alta. En la figura 12-16 es del 70% en A; del 30% en B; del 1% en C, y del 100% en D.
- Ajustando estos porcentajes entre el 1 y el 100%, pueden cubrirse todos los tipos de contornos, desde el triangular con el 100% hasta el cuadrangular con el 1%, pasando por toda la gama intermedia del trapecoidal.

De esta forma, si se puso el tiempo del ciclo en 10 s y el porcentaje al 50%, se obtendrán: 5 s en F1, 5 s para el barrido de ascenso, 5 s en F2, 5 s para el barrido de descenso y se repite la cadencia. Las cuatro variantes del conjunto de la figura 12-16 se analizan con detalle en la tabla 12-1.

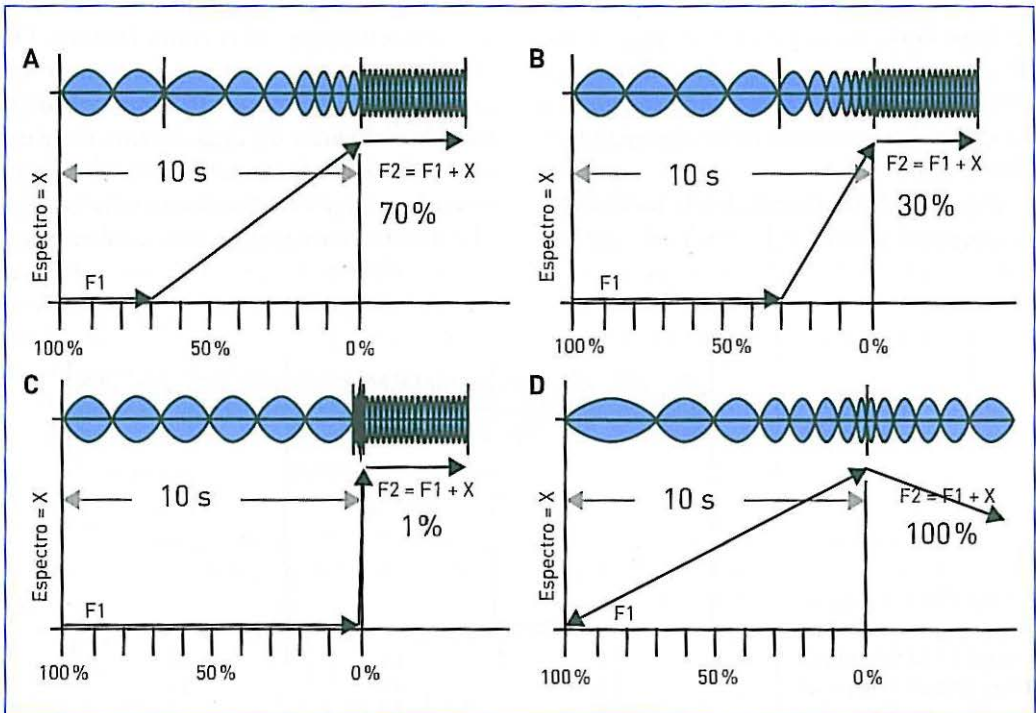


Figura 12-16. Contorno ajustado con porcentajes.

Tabla 12-1. Cadencias de tiempos en los contornos de la figura 12-16

	Ciclo completo en s	Cambio en %	F1 en s	Barrido de subida en s	F2 en s	Barrido de bajada en s
Figura 12-16 A	10	70	3	7	3	7
Figura 12-16 B	10	30	7	3	7	3
Figura 12-16 C	10	1	9,9	0,1	9,9	0,1
Figura 12-16 D	10	100	0	10	0	10

Los datos a los que se refiere el título de la tabla están en las celdas coloreadas.

Utilidad del contorno

El contorno más clásico y que se diseñó desde el inicio de la media frecuencia es el triangular y se destina a barridos de ida y vuelta entre dos valores de frecuencia. Siempre se ha considerado que un barrido de 80-100 Hz de modulación (mejor 80-150 Hz) posee un fuerte poder analgésico en procesos agudos y dolores de tipo neurálgicos, como una ciática.

El barrido cuadrangular, por ejemplo, de 1 s-1 s [1:1] puede ser útil para relajación muscular si se ajusta un barrido de 3-50 Hz de modulación y se lleva a cabo mejor con una portadora de 2.500 Hz. Esto produce un tirón muscular brusco (pero sin dolor) cuando pasan los 50 Hz y queda 1 s vibrando a 3 Hz; si se ajusta bien la intensidad, posee un potente efecto relajante.

Con el contorno trapezoidal se dispone de muchas opciones de tratamiento y depende

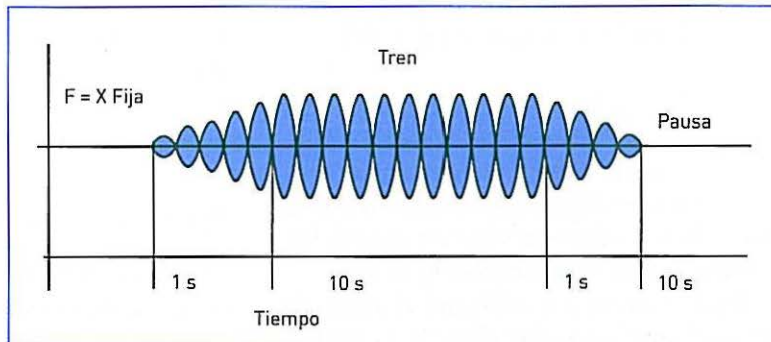
mucho de la imaginación del terapeuta. Por ejemplo, con 10 s de ciclo, el 20 % de cambio entre las dos frecuencias y con un ajuste de la frecuencia baja a 3 Hz y de la alta a 50 Hz.

Ocurrirá que durante 8 s el músculo estará vibrando a 3 Hz; durante 2 s cambia de 3 a 50 Hz y entra en una contracción progresiva y mantenida durante 8 s, 2 s para volver a 3 Hz, 8 s en vibración y así, durante la sesión. Se ha aplicado un fortalecimiento muscular con descanso activo.

Trenes de media frecuencia

Los trenes, en general, contienen una modulación de frecuencia fija, un tiempo de ausencia de energía eléctrica (la pausa), un tiempo de ascenso en la intensidad (que no en la frecuencia), unos segundos del tren con su intensidad máxima y otro pequeño tiempo para volver de forma progresiva a la pausa (Figs. 12-17 y 12-18).

Figura 12-17. Trenes de media frecuencia con modulaciones sinusoidales. Puede ser recomendable su uso si no se tiene otra opción.



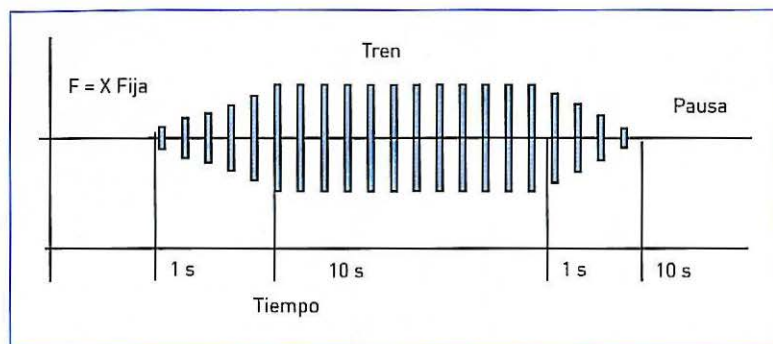


Figura 12-18. Trenes de media frecuencia con modulaciones cuadradas. Son los típicos de la corriente de Kots con portadora de 2.500 Hz.

En los trenes se debiera disponer de la capacidad para diseñarlos con modulación sinusoidal o cuadrangular, ya que los trenes se usarán para el trabajo muscular intenso, por lo que sería mejor aplicarlos con modulación cuadrangular (Fig. 12-18). Si no se dispone de esta opción, se utilizarán los trenes con modulación sinusoidal. Es posible aplicar trenes con barridos de frecuencia, pero siempre que se adapten a la lógica de la fisiología y el equipo que se utilice lo permita.

Asimismo, la aplicación de trenes debe disponer de un mando de aplicación intencionada para regular a mano los tiempos de aplicación y de descanso.



Vídeo 12-12. Ratio pulso-reposo en Kots

La corriente de Kots consiste en trenes de media frecuencia con modulación cuadrangular y corriente portadora de 2.500 Hz aunque esta portadora puede modificarse. Se tratarán con más detalle más adelante y se remite al lector a «Trenes de media frecuencia», en el capítulo 11.

Modulación en frecuencia fija

Lógicamente, esta forma no requiere contorno ni ajustes de frecuencia mínima o máxima, pues sólo se mantiene un valor concreto de frecuencia, es decir, se está trabajando en AM.

Puede conseguirse mediante el ajuste de los dos límites de los barridos a la misma fre-

cuencia (siempre que el equipo lo permita) o como función específica mediante el ajuste de la frecuencia de modulación a frecuencia fija.

La frecuencia fija se usará en los trenes o como aplicación mantenida para el estímulo sensitivo o la vibración muscular.

Modulaciones triangulares aisladas

Algunos equipos de media frecuencia ofrecen la posibilidad de generar pulsos o modulaciones en forma triangular con el objetivo de emplearlos en los tratamientos de parálisis periféricas.

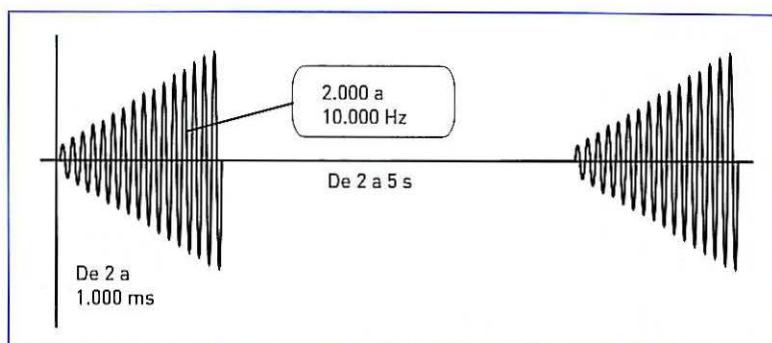
Los tiempos de modulación habituales para una parálisis periférica pueden estar entre 100 y 500 ms, separadas entre sí de 2 a 5 s. Tienen la propiedad de no agredir por no poseer componente galvánico (Fig. 12-19).

Dado que el organismo capta la pequeña ráfaga como estímulo único, la respuesta sería semejante a la de impulsos triangulares de la misma duración en baja frecuencia, pero con la ventaja de que poseen muy bajo nivel de irritación y no queman, circunstancia muy útil en tratamientos de incontinencia, en el cuello y en la cara (v. «Tratamiento de parálisis de cuerdas vocales y musculatura adyacente», en el cap. 10).

Hipotético equipo de media frecuencia

Dado que la media frecuencia implica nuevos conceptos respecto de la baja, se introduce este apartado para que sirva de refuerzo de

Figura 12-19. Modulaciones triangulares aisladas para el tratamiento de la parálisis periférica.



conceptos y comprensión del posible manejo de un estimulador. Los conceptos de manejo pueden ser aplicables a otros modelos comerciales (Fig. 12-20).

En principio, como se detalla más adelante, estos estimuladores deben disponer de salidas para aplicación con electrodos convencionales y electrodos de ventosas. Esta última modalidad implica que el equipo debe constar de un sistema de vacío que aspire el aire de la ventosa y conduzca la electricidad de la corriente.

Vacuómetro

En la parte inferior de la figura 12-20 puede observarse un segundo aparato añadido al principal, por el cual se hace pasar la corriente y al cual se conectan los cables y, a la vez, tubos conductores de aire. Cabe apreciar el doble sistema de conexión marcada como circuito I y circuito II. En la parte superior se encuentran las entradas procedentes del estimulador mientras que las inferiores se destinan a salida hacia el paciente.

En su parte derecha se observa un sistema de recogida de agua que pueda absorberse de las ventosas para evitar que se mojen los circuitos eléctricos. En caso de que este recipiente alcance la indicación de máximo, se vaciará.

A la izquierda se aprecia un barómetro para medir la presión negativa aplicada a las ventosas. Este limbo graduado suele dibujarse con una zona que indica los valores medios

recomendados, lo suficiente para que los electrodos se mantengan bien adheridos a la piel sin que caigan. La práctica ofrecerá los valores medios más correctos.

Dos mandos situados por debajo del barómetro sirven, uno de ellos, para regular la presión y, el otro, para lograr que la succión aplicada sea continua o alterna con mayor o menor velocidad.

Electroestimulador de media frecuencia

Los equipos generadores de media frecuencia, por lo general, constan de los controles que se muestran en las figuras 12-20 y 12-21.

En una primera zona (a la izquierda) se dispone de los dígitos indicadores de la frecuencia portadora, normalmente regulables entre 2.000 y 10.000 Hz, ajustables mediante las reclas que aumentan o disminuyen valores. Los dos grupos de dígitos siguientes se destinan al ajuste de los valores en las frecuencias de modulación en los barridos (el mínimo y el máximo). Si se desea frecuencia fija sin barridos, las dos cifras deben situarse al mismo valor numérico. El tercer grupo de dígitos es el reloj para el control de las sesiones (al finalizar el conteo se detendrá la corriente).

Debe recordarse que 4.000 Hz se consideran clásicos y una portadora de referencia para la media frecuencia, pero se dispone de la posibilidad de aplicar desde 2.000 hasta 10.000 Hz. Se aprecia que 2.000 Hz generan un estímulo

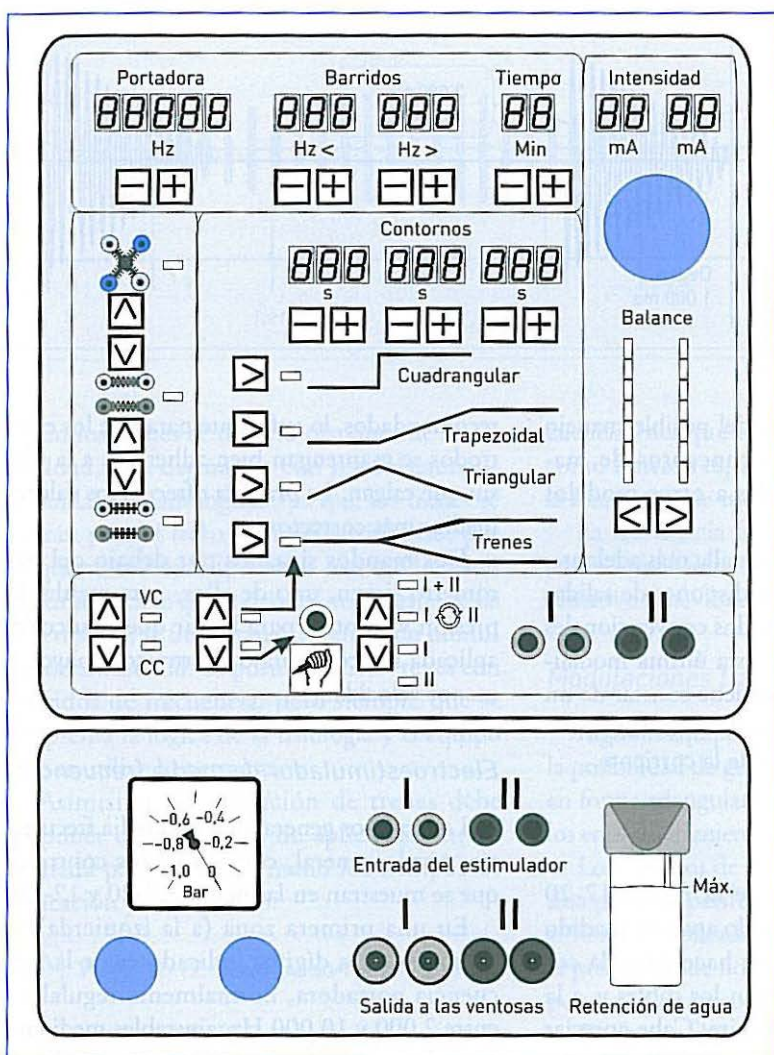


Figura 12-20. Hipotético equipo de media frecuencia con el sistema de vacío para electrodos ventosa.

sensitivo y motor más intenso y muy definido como sensación de calambre eléctrico. Cuando se aproximan a los 10.000 Hz, se sentirá que la

corriente se convierte en un estímulo mucho más suave, donde se pierde la percepción sensitiva y motora, pero se mantiene la capacidad

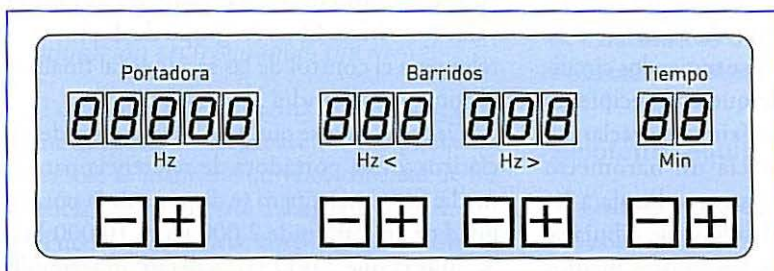


Figura 12-21. Ajustes de frecuencias y tiempo de sesión. Para conseguir una frecuencia fija sin barridos, los dos valores de BARRIDO deben presentarse en las mismas cifras.

de contracción muscular por la modulación con la sensación de una compresión muscular (aunque requiera elevar la intensidad).

En la zona izquierda de la carátula se aprecia un grupo de controles manejados por las teclas marcadas como puntas de flechas (Fig. 12-22). Existen tres posibilidades:

- La superior elige la aplicación clásica tetrapolar de corrientes interferenciales.
- La del centro es la aplicación bipolar con modulación generada dentro del equipo, pero modulación sinusoidal.

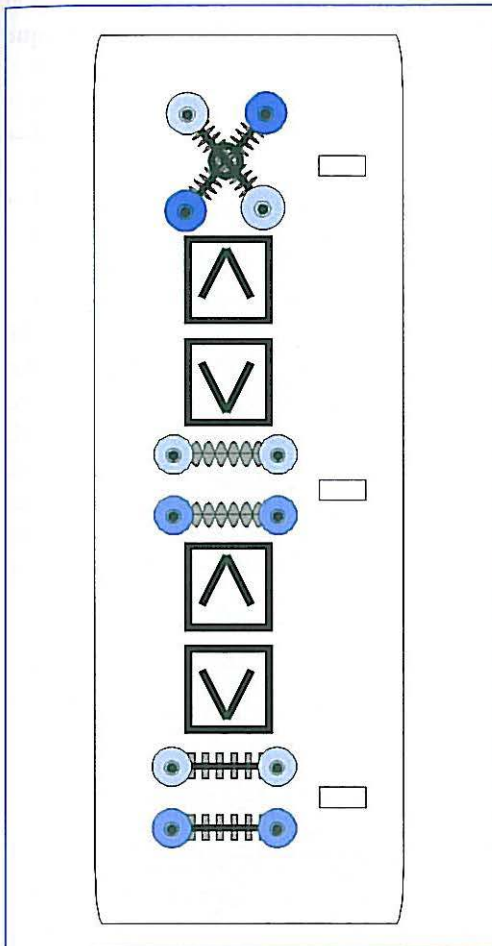


Figura 12-22. Corrientes tetrapolar, bipolar sinusoidal y bipolar cuadrada.

- La inferior es la alternativa entre la del centro y ésta, pues en ocasiones se necesitan modulaciones cuadrangulares.

La modulación sinusoidal es más suave que la cuadrangular, pero ésta genera estímulos sensitivos más definidos. Sobre todo se utilizará para estimulación muscular porque da la ocasión de producir reposos entre los pulsos que permiten la adecuada repolarización de membrana. Así pues, siempre que se apliquen trenes de media frecuencia, se elegirá modulación cuadrangular.

La zona central del equipo muestra la regulación de contornos, en que se representan los más habituales (Fig. 12-23). Con las teclas de la izquierda se elige una de las cuatro posibilidades disponibles. Con las teclas superiores se regulan los segundos que se pretenden otorgar a cada fase del contorno. En el contorno cuadrangular sólo se regulará el tiempo en la frecuencia mínima y el tiempo en la frecuencia máxima. Para los trapecoidales, se regulará el tiempo en la mínima, el tiempo que asciende hasta la máxima y, por último, el tiempo que dura ésta. El descenso será de igual duración que el ascenso. En los triangulares también se regularán dos tiempos, el de subida y el de bajada.

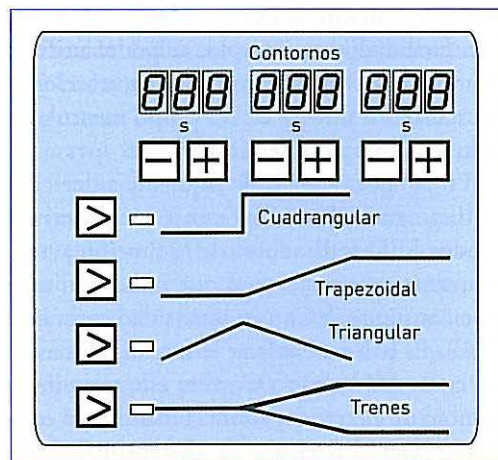


Figura 12-23. Ajustes para los contornos con sus tiempos independientes.

Los anteriores contornos, aunque se hayan fijado sus parámetros, dejan de hacer cambios de frecuencia si se aplica frecuencia fija y la mínima coincide con la máxima.

Los trenes dispondrán de un tiempo para la pausa o ausencia total de corriente, de un tiempo de ascenso y descenso del tren (de igual duración) y de un tiempo en segundos para la duración real del tren.

En la **figura 12-24** se dibuja la zona que controla la intensidad y los ajustes en la salida de la corriente.

En la parte superior se localiza el conjunto de dígitos que indica la intensidad en mA para cada canal; a continuación se encuentra el potenciómetro para regular la intensidad de ambos canales de manera simultánea. Inmediatamente por debajo se encuentran dos columnas de díodos luminosos que indican de forma aproximada y comparativa la intensidad de un canal respecto al otro, el balance.

El balance entre intensidades es importante porque regula los desajustes de intensidad o grado de molestia que el paciente siente en un circuito respecto al otro. Además, el balance también se usa para concentrar o dirigir el punto de mayor interferencia de unas zonas a otras. En ciertas ocasiones, permite conseguir efectos que, en la aplicación tetrapolar con interferencia dentro del paciente, no se obtienen con facilidad; por ejemplo, se podrá utilizar cuando se deseen determinadas contracciones musculares o desviar de un grupo muscular a otro el mayor efecto contráctil.

En la **figura 12-25**, de izquierda a derecha, se distinguen dos teclas con sus respectivos diodos LED indicadores de la función activa que ajusta el equipo para que trabaje en tensión constante (VC) o en intensidad constante (CC). Es habitual aplicar la media frecuencia en la modalidad de VC, pues ello permite el cambio de electrodos sobre la marcha sin molestias para el paciente (v. «Intensidad constante» y «Tensión constante o voltaje constante», en el cap. 1).

Si se desea aplicar la modulación 0, basta con colocar sobre el paciente un solo circuito en modalidad tetrapolar y en VC, pues en CC generaría error en el circuito de electrodos porque un canal no está conectado.

Las siguientes teclas activan el estimulador para que los trenes sean controlados de forma automática de acuerdo con los tiempos ajustados o mediante un pulsador externo que se conectará de forma que, mientras esté pulsado, se mantenga el tren y, al soltar, entre en pausa (**Fig. 12-26**).

De nuevo en la **figura 12-25**, a la derecha del conector para el pulsador se observan dos teclas que activan el ascenso y el descenso sobre cuatro LED luminosos, que indican:

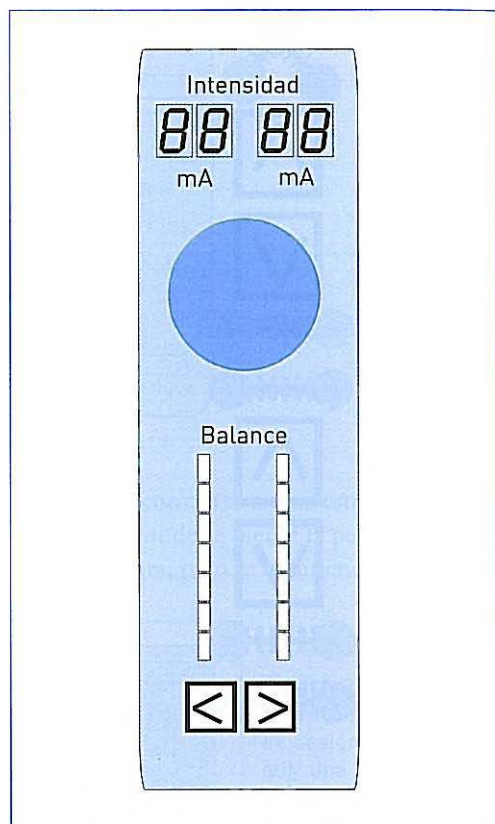
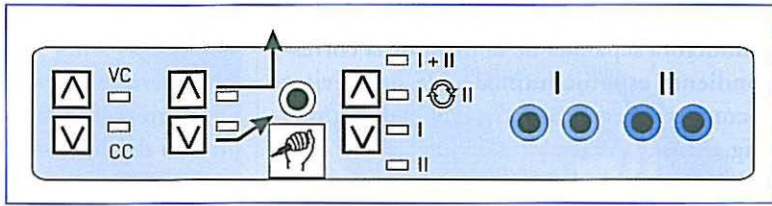


Figura 12-24. Sistema para ajuste de intensidad con dos indicadores y balance de la intensidad.

Figura 12-25. Ajustes de salida hacia el paciente.



- El superior indica que se han seleccionado los dos canales como salida activa (I + II en el LED superior).
- En el segundo LED continúan seleccionando los dos circuitos, pero de forma que se balancean las intensidades (vector) en una cadencia determinada (habitualmente cada 10 s), de manera que cuando uno aumenta la intensidad el otro la reduce entre el 20 y el 30 %.
- El tercer LED indica que sólo saldrá corriente por el canal I.
- El último LED indica que sólo trabaja el canal II.

A continuación se encuentran las cuatro salidas agrupadas de dos en dos: el I y el II; los colores iguales forman un mismo circuito al contrario de lo que ocurre en la baja frecuencia. Estos conectores permiten la aplicación directa al paciente mediante electrodos convencionales o permiten la derivación mediante un enlace con el vacuómetro, cuando se apliquen electrodos ventosas.

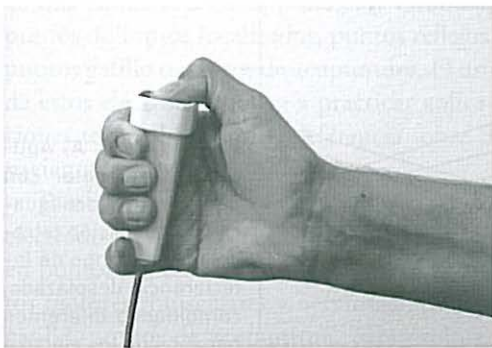


Figura 12-26. Pulsador de aplicación intencionada.

Las dos primeras clavijas corresponden a un canal y las dos siguientes al otro, pudiéndose utilizar cada circuito de manera independiente, en aplicación bipolar con la modulación que se genera dentro del equipo, o tetrapolar si se cruzan los cuatro electrodos de ambos circuitos, cuando las modulaciones o la interferencia se realicen dentro del paciente.

Asimismo, en las terapias combinadas con ultrasonidos puede usarse cualquiera de los dos circuitos para conectar este equipo con otro de ultrasonidos, a fin de que un cable vaya directamente al paciente en tanto que el otro pasa por el aparato de ultrasonidos y el cabezal de ultrasonidos se convierte en electrodo. En terapias combinadas con cabezal de ultrasonidos debe activarse el modo de trabajo en VC.

Electrodos en media frecuencia

Pueden utilizarse los electrodos habituales empleados en corrientes de baja frecuencia con su gamuza humedecida y goma conductora, de mayor o menor tamaño según los deseos del fisioterapeuta, la zona anatómica y los objetivos; por lo general deben ser todos iguales, ya que al trabajar con corrientes alternas no existe polaridad ni electrodo activo. Aunque, si se desea localizar en una pequeña zona la interferencia, puede conseguirse con dos electrodos grandes y dos pequeños (Fig. 12-27), pero los pequeños se adaptarán a formas anatómicas cónicas.

La aplicación más frecuente es la de cuatro ventosas con forma de semiesfera, que

contienen en su interior una placa metálica conductora separada de la piel por la correspondiente esponja humedecida para evitar el contacto eléctrico entre el metal y la piel (Fig. 12-6).

Las ventosas deben asegurarse con firmeza, pero que no lleguen a dejar señales o «moratones circulares» al retirarlas. En caso de estar adheridas muy flojas, con frecuencia se corre el riesgo de que se desprendan e interrumpen el paso de corriente que, aunque sólo sea un electrodo, afecta a toda la aplicación. Los manómetros suelen indicar una zona de presión considerada como buena.

Las esponjillas deben mantenerse bien humedecidas, pero no tanto como para que la fuerza de succión extraiga de ellas cantidades importantes de agua. En caso de que así suceda, los equipos poseen su sistema de filtro para separar el agua del aire con el fin de evitar daños al circuito eléctrico. En caso de que se acumule el agua en el receptáculo, tiene que eliminarse antes que rebose o se active la alarma que bloquea el funcionamiento del sistema.

Dependiendo de que el estimulador trabaje en tensión constante (VC) o en intensidad constante (CC), es interesante detenerse a observar en cualquier aplicación las siguientes circunstancias:

- En VC, cuanto más humedecidas estén las esponjas antes se conseguirán los efectos y no será necesario subir de manera excesiva la intensidad, además de permitir el traslado de electrodos sin bajar la intensidad. Con CC no se deben retirar los electrodos sin bajar la intensidad.
- Con VC, cuanto mayor humedad de esponjas y más presión se ejerza en la succión más ascienden las agujas o los valores indicadores de intensidad; al contrario ocurriría si se trabajase en CC.
- En VC, si la succión es alternativa, las agujas indicadoras de intensidad oscilarán al mismo ritmo de forma que a mayor succión, mayor desplazamiento. Con todo, en CC las agujas no oscilan aunque el paciente siente disminución de la corriente cuando aumenta la succión, por bajada en el voltaje.
- En VC, si la succión es fija, la intensidad no varía, incluso irá aumentando de forma muy lenta. En CC, la intensidad se mantiene, pero el voltaje puede cambiar si la resistencia de los electrodos cambia. En intensidad o corriente constante (CC), al disminuir la resistencia, baja el voltaje y, por consiguiente, también baja la potencia o energía absorbida por el organismo.

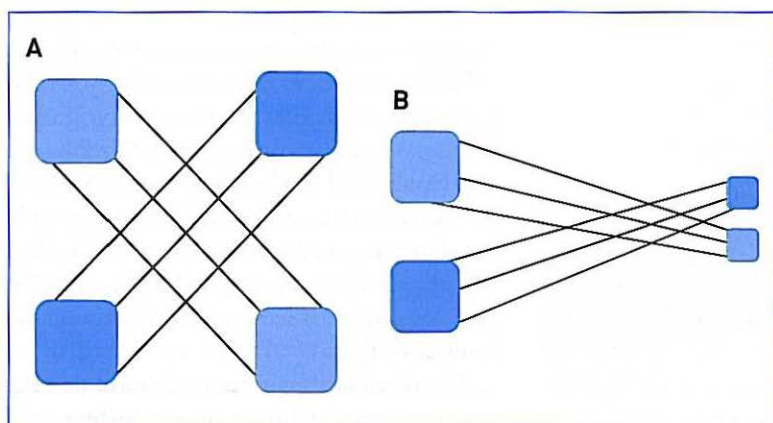


Figura 12-27. A) Aplicación tetrapolar con cuatro electrodos iguales. B) Aplicación tetrapolar con campo de interferencia desplazado, combinando diferentes tamaños de los electrodos.

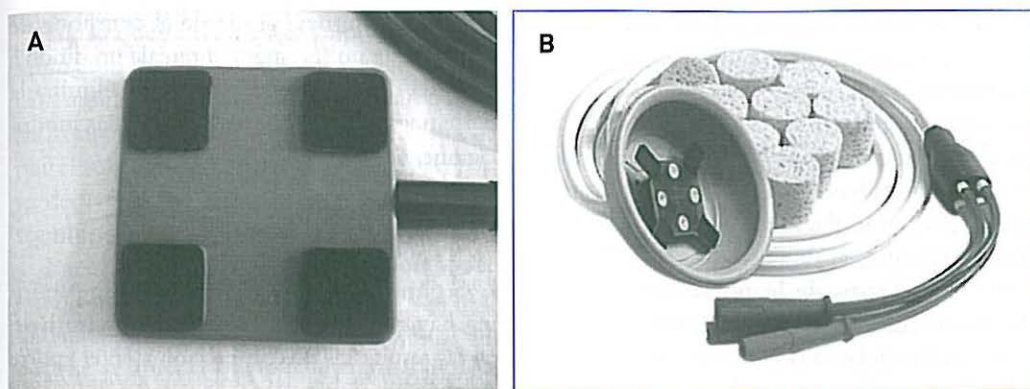


Figura 12-28. A) Aplicación de electrodos tetrapolar para aplicación puntual. B) Electrodo ventosa te-trapolar para aplicación puntual.

- En CC se tenderá a usar electrodos convencionales. En VC es preferible usar los de ventosa.

Las ventosas suelen presentarse en tres tamaños diferentes, de acuerdo con la extensión o la zona corporal. Se tenderán a usar los mismos tamaños y a no mezclar las grandes con las pequeñas en la misma aplicación, a no ser que el proyecto de tratamiento u objetivos así lo exijan.

Los equipos suelen disponer en su utillaje básico de un aplicador local, de alrededor de 8×8 cm (Fig. 12-28), en el cual se implantan los cuatro electrodos de 1 o 2 cm², separados entre sí unos pocos centímetros, o una ventosa que contiene los cuatro electrodos, con el fin de producir la interferencia localizada en una pequeña zona corporal para estimular puntos dolorosos localizados, puntos reflejos, puntos gatillo o puntos de acupuntura. El uso de estos electrodos obliga a practicar aplicaciones tetrapolares con interferencia sobre el paciente.

También es importante disponer de un electrodo puntual (Fig. 12-29) para aplicarlo en puntos concretos y buscar analgesia, puntos motores (musculares y nerviosos), puntos gatillo, puntos de acupuntura, para explorar niveles de sensibilidad al dolor en las distintas

zonas que soportan procesos patológicos, etc. Las aplicaciones con este electrodo siempre exigen aplicaciones bipolares y que la modulación se genere dentro del aparato.

Los electrodos autoadhesivos no son adecuados en estas corrientes cuando se regula el modo de trabajo en VC. Tampoco son adecuados para provocar respuestas motoras intensas, dada su superficialidad, circunstancia solucionable si se reafirman con cinchas.

EFFECTOS DE LA MEDIA FRECUENCIA SOBRE LOS TEJIDOS VIVOS

Tras aplicar la media frecuencia al organismo humano, con sus 4.000 Hz clásicos,

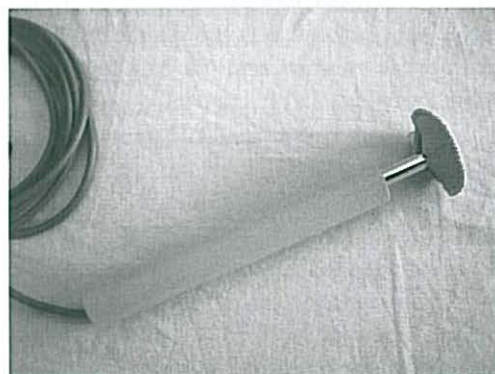


Figura 12-29. Electrodo manual y puntual.

a la portadora alterna sin polaridad eléctrica no se le atribúan efectos de importancia (al menos, se ha estado afirmándolo hasta hace poco tiempo), pero están apareciendo en el mercado equipos de media frecuencia con corrientes basadas en la portadora más que en las modulaciones y la experiencia demuestra que, al parecer, son más interesantes los efectos de la portadora que los de las modulaciones. En los orígenes de la media frecuencia, el objetivo era obtener resultados terapéuticos con las modulaciones más que con la portadora; la portadora se aprovechaba para entrar de forma fácil en el organismo.

Además, a causa de la disminución de impedancia que la piel y otros tejidos presentan en esta banda de frecuencia, puede aplicarse bastante potencia energética, lo que lleva implícito cierta transformación de energía eléctrica en térmica por el efecto Joule, energía calórica que puede desencadenar suaves fenómenos fisiológicos de aumento metabólico, vasodilatación, licuefacción del ambiente intersticial y mejora del trofismo, aun en el caso de que el paciente no manifieste sensación de calor por no llegar a estimular el umbral de los termorreceptores. Para que esto se produzca y predomine sobre otros efectos, la portadora debe elevarse a valores entre 7.000 y 10.000 Hz.

De nuevo en la media frecuencia modulada o corrientes interferenciales clásicas, los efectos fisiológicos atribuidos a éstas están determinados por las modulaciones en baja frecuencia sobre los tejidos en que actúan.

Si a la baja frecuencia se le han atribuido las funciones básicas de efectos electroforéticos y electrolíticos (componente galvánico), efectos sensitivos y efectos motores, a las modulaciones de baja frecuencia procedentes de la portadora de media frecuencia se le continuarán atribuyendo efectos sensitivos, efectos motores y efectos energéticos, pero no galvánicos.

Por ser alternas, se pierde el componente galvánico, a no ser que se intercale un diodo a la salida del circuito eléctrico, que elimina la parte negativa de la portadora o de las modulaciones.

Dosificación de la media frecuencia

Según lo descrito en los párrafos anteriores, hay que fijarse en los estímulos sensitivos, en las respuestas de contracción y en el aporte energético:

- Para respuestas sensitivas, se prestará atención al hecho de que el paciente no manifieste molestias por causa de la corriente y el límite estará en la percepción subjetiva de éste. Hay que diferenciar que en ciertas aplicaciones aparece el dolor por el llamado «efecto de galvanopalpación» aunque no se esté frente a componente galvánico.
- En cuanto a la respuesta motora, debe evitarse que las aplicaciones mantenidas en frecuencia fija o en barridos que superen los 10 Hz no provoquen contracción muscular importante, pues terminan fatigando a la musculatura y provocando calambres musculares. Para superar la respuesta motora, se llevará a cabo con trenes o con vibraciones musculares.
- En cuanto al aporte energético, es complejo saber qué cantidad de la energía aplicada se transforma en calor o en alteración de la actividad biológica. Sin embargo, dado que este efecto se produce con altas frecuencias de portadora y elevadas intensidades, se plantea la duda de cómo actúa tanta energía aplicada si no provoca respuesta sensitiva ni respuesta motora.

Cabe matizar que el estímulo sensitivo se produce por la portadora y por la modulación; los dos son suaves, pero si se aplica la portadora sin modular, al aumentar la frecuencia se va perdiendo el estímulo sensitivo.

■ Por lo que se refiere a la respuesta motora, sobre todo la produce la frecuencia de modulación aunque la portadora sin modular, cuando las frecuencias son bajas (de 2.000 a 4.000 Hz), por sí sola genera contracción muscular, pero va decayendo de forma progresiva, segundo a segundo, hasta desaparecer.

■ La parte de posibles efectos por aporte energético se va a producir, sobre todo, en la banda alta de las frecuencias de portadora porque se aprecia que puede elevarse mucho la intensidad y el paso de energía es tal que en algún tejido debe absorberse y transformarse.



Práctica experimental

Se toman dos electrodos estándar con sus esponjillas entre 70 y 100 cm².

Se prepara un modelo sin procesos patológicos, por ejemplo, en la rodilla.

Se fijan los dos electrodos en forma contralateral a ambos lados de la rodilla.

Se prepara un estimulador de media frecuencia en corrientes interferenciales clásicas tetrapolares de manera que un circuito termine en los electrodos de la rodilla. El otro canal se deja libre o se unen los dos electrodos entre sí; dependerá de las exigencias de seguridad en el aparato o de la forma de elevar la intensidad.

Por usar un canal, no importan los ajustes sobre modulaciones.

La prueba consiste en aplicar diferentes frecuencias de portadora y elevar la intensidad hasta el estímulo sensitivo, midiendo la intensidad y preguntando al modelo.

Pueden probarse: 2.500, 3.500, 5.500, 7.000 y 9.000 Hz. Es mejor no llevar a cabo la práctica avanzando por los valores en sentido descendente.

Se advertirá que puede ir elevándose la intensidad paso a paso y llamará la atención que con los valores más altos la intensidad estará cerca de los límites del rango de la máquina.

¿Qué efectos produce el paso de tanta energía? Éste es un tema por investigar.

Es una de las lagunas por descubrir e investigar de la media frecuencia. En la práctica, con cierta frecuencia el fisioterapeuta encuentra quemaduras de media frecuencia cuando los electrodos son pequeños y se ha aplicado una intensidad considerable aunque el paciente no haya manifestado molestias. Las quemaduras de esta corriente no son galvánicas ni electro-líticas.

Tejidos en los que actúa la media frecuencia

En los siguientes tejidos actúa la media frecuencia:

- fibra muscular estriada,
- fibra muscular lisa,
- vasos sanguíneos y linfáticos,
- intestinos,
- otros conductos y esfínteres con capacidad contráctil,
- tejido conjuntivo,
- articulaciones,
- tejido nervioso,
- disoluciones orgánicas y
- piel.

Efectos sobre el músculo estriado

Se ha descrito que las fibras del conjunto neuromuscular presentan la capacidad de responder de forma motora cuando se provocan cambios eléctricos en su ambiente biológico (v. caps. 10 y 11).

Las modulaciones o pulsos de la media frecuencia clásica están formadas por impulsos sinusoidales de doble amplitud (positiva y negativa de manera simultánea), circunstancia que provoca en la membrana de las fibras musculares alteraciones en su nivel de polarización, lo que ocasiona una respuesta motora.

Lógicamente, los mejores impulsos para despolarizar la membrana de la fibra muscu-

lar son impulsos de subida rápida (modulaciones cuadrangulares). Los empleados en las interferenciales clásicas son de subida y bajada progresiva (sinusoidales) con menos capacidad de despolarización aunque el área eléctrica sea más amplia (Fig. 12-30). Además, las modulaciones sinusoidales no permiten un reposo adecuado; en cambio, lo permiten las modulaciones cuadrangulares. Son reposos que se adaptan a la fisiología de la membrana por respetar los períodos refractarios.

Para regular los ajustes entre la modulación cuadrangular y los reposos, algunos equipos ofrecen la posibilidad de establecer una razón aritmética entre el tiempo ocupado por el pulso y el reposo. Así, pueden encontrarse las razones de 1:1, 1:2, 1:3, 1:4, 1:6, etc. La razón de 1:4 es muy adecuada. Otros fabricantes regulan la razón entre pulso y reposo, y permiten un tiempo al pulso en ms y recibe el reposo el resto (en milisegundos) hasta completar el tiempo del período correspondiente a la frecuencia ajustada. Este tema se profundizará más en otros capítulos porque también se emplea en otras técnicas.

Cuando las modulaciones o corrientes interferenciales superan el umbral motor de la fibra estriada, las respuestas motoras están influidas por diversos parámetros, los cuales conviene conocer y dominar para conseguir el máximo control a fin de eliminar fenómenos no deseados:

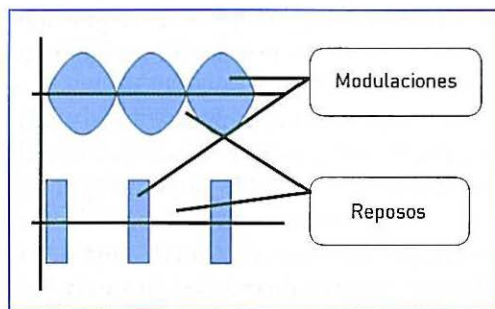


Figura 12-30. Modulaciones cuadradas y sinusoidales. Aunque las superiores tienen más área eléctrica, las inferiores son más eficaces para el estímulo sensitivo y motor.

- Si las frecuencias son bajas (hasta 10 Hz), la contracción es vibratoria.
- A partir de 10 Hz, la contracción se va convirtiendo en mantenida y puede alcanzar su máxima intensidad entre 80 y 130 Hz.
- Cuando la interferencia es generada dentro de los tejidos, la zona de mayor efecto no es precisa y la respuesta motora es débil e incontrolada. Para evitarlo, se genera dentro del equipo y se practican aplicaciones bipolares con circuitos separados y la modulación bien dirigida y al 100 %.
- Si se mantiene un barrido sin pasar por las frecuencias más bajas, la musculatura no entrará en relajación (circunstancia que debe evitarse mediante la disminución de la intensidad).
- Si la succión es alterna, se notarán aumentos y disminuciones de la contracción. Para evitar esta oscilación, se cambiará a succión fija (sin alternancias).

Para trabajar con la adecuada precisión y evitar que un método altere los resultados buscados, deben conocerse bien todas las posibilidades de manejo y determinados fenómenos eléctricos.

Si se está frente a parálisis periféricas, se acudirá a las modulaciones triangulares aisladas; si el equipo no dispone de ellas, se usarán pulsos triangulares de baja frecuencia y, tal vez, si se insiste en la aplicación de media frecuencia para parálisis, se seleccionará frecuencia fija a 1 Hz y modulación sinusoidal. Frente a la musculatura sana, deben aplicarse trenes si el objetivo es trabajo para tonificación o potenciación.

Barridos de 0 a 10 Hz de contorno triangular

Si se aplica el barrido de 0 a 10 Hz y se supera el umbral motor, se observará cómo las contracciones están seguidas de relajaciones,

umentando y disminuyendo de velocidad, logrando que sean rítmicas y vibratorias; es una situación que provoca relajación en las contracturas. Si se pretende dicha vibración muscular, ofrecerá mejores resultados eliminar el barrido y aplicar una frecuencia fija de 2, 3, 4, 5 o 6 Hz de acuerdo con la información que aporte el paciente como frecuencia más agradable y relajante.

Barridos de 0 a 100 Hz de contorno triangular

Tras superar la respuesta motora, provocan contracciones que pasan de vibración a contracción mantenida y más intensa, para volver a la vibración, más un instante de relajación cuando el barrido pasa por 0 y vuelve a iniciar el ciclo. Esto produce mejora del tono muscular, regularización del tono y efecto semejante a la «compresión de una esponja» sobre los líquidos contenidos en el músculo, sean linfáticos, intersticiales o sanguíneos.

Mediante el contorno cuadrangular o el trapezoidal puede matizarse el efecto esponja. Sería interesante aplicar un contorno cuadrangular sobre un barrido de 2 a 60 Hz, de manera que durante 10 s se mantenga en 2 Hz y pase, de forma brusca, a 60 Hz durante otros 10 s.

Esta circunstancia consigue que los músculos afectados vibren durante 10 s para pasar de forma brusca a una contracción importante que los exprimiría otros 10 s, volverían a vibrar y a contraerse. Esta forma no fatiga el músculo. Si se considera excesivamente brusco el cambio, puede atenuarse eligiendo un contorno trapezoidal con un barrido intermedio entre 2 y 60 Hz.

A continuación se aprecian las posibilidades que permiten estos equipos para adaptarse a diferentes teorías de potenciación muscular, relajación muscular, analgesia, etcétera.

Barridos de 80 a 100 Hz de contorno triangular

Si se supera el umbral motor, la contracción muscular se mantendrá durante toda la sesión sin dar opción al músculo a pasar por momentos de relajación.

Esta forma de aplicación hay que evitarla para impedir, cuando menos, posibles fatigas musculares, tetanias o calambres. Para ello, la aplicación no debe superar el umbral motor y debe permanecer sólo por encima del sensitivo. El barrido de 80 a 100 Hz «puede» ser excelente para potenciación muscular de la fibra rápida, pero siempre que su contorno se produzca en trenes que permitan descansos en el trabajo muscular.

Las frecuencias de mejor respuesta contráctil de fibra estriada dependen, en parte, de que el músculo sea lento o rápido. Esta frecuencia oscila entre 60 y 100 Hz. Las frecuencias superiores a 100 Hz continúan manteniendo un efecto motor, pero se usarán mejor para estímulos sensitivos, ya que en motores invaden de manera excesiva el período refractario de la membrana.

Si se colocan los electrodos de forma longitudinal al músculo en aplicación bipolar, se obtendrán mejores respuestas que si la interferencia se produce en zonas musculares poco concretas por aplicación tetrapolar. Según esto, se llevará a cabo de forma que la modulación se realice dentro del aparato para disponer de mayor movilidad con los electrodos, modulación al 100 % y elección indistinta de un circuito, del otro o de ambos.

Un buen ejemplo de lo descrito puede experimentarse cuando se desee que la musculatura paravertebral responda mediante la contracción. Puede intentarse colocando los cuatro electrodos de forma cruzada e interferencia en los tejidos (Fig. 12-31 A), y con los cuatro electrodos en los mismos lugares, dos a dos sin cruzar, con interferencia dentro del

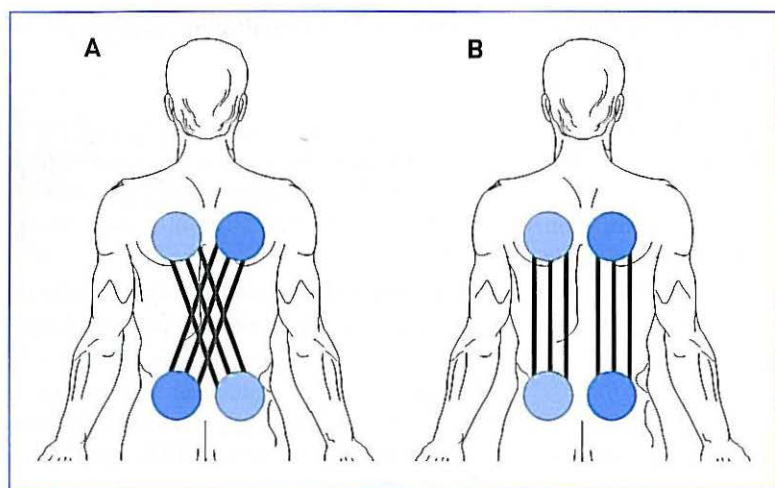


Figura 12-31. A) Aplicación tetrapolar para respuesta muscular. B) Aplicación doble bipolar para respuesta muscular. La más eficaz es la bipolar.

aparato. Cada circuito se dispondrá en sentido longitudinal a la masa muscular (Fig. 12-31 B).

Una vez que se haya aplicado el mismo tipo de corriente e intensidad en ambos casos, se comprobará cómo en el segundo ejemplo la respuesta contráctil es mucho más clara y definida que en el primero, lo que indicará que la aplicación tetrapolar no es adecuada para la respuesta motora. Sin embargo, la aplicación tetrapolar ofrecerá excelentes resultados para analgesia.

En resumen, el estímulo de la fibra estriada, por lo general, estará destinado a relajación o a trabajo muscular, el cual, de preferencia, se realizará con frecuencias fijas de 1 a 6 Hz y trenes de frecuencias fijas comprendidas entre 50 y 100 Hz, respectivamente.

Efectos sobre el músculo liso

La musculatura lisa es de respuesta mecánica, mucho más lenta que la estriada, y su forma de trabajo es distinta:

- El músculo estriado está dispuesto en sentido longitudinal y con fibras paralelas y enlazadas entre sí.
- El músculo liso se encuentra dispuesto en forma circular y transversal a lo largo de los distintos conductos y esfínteres, realiza su

trabajo de manera que las fibras contraídas provocan contracción a las siguientes y relajación a las anteriores, lo que genera «olas de contracción» que avanzan por el órgano tubular correspondiente, dejando pausas de relajación (pausas que deben respetarse).

No toda la musculatura de esfínteres es lisa. Los esfínteres de control voluntario son de fibra estriada.

Si se invaden amplias zonas corporales con corrientes moduladas a baja frecuencia (de 0,5 a 5 Hz) en caso de respuesta motora de fibra lisa, se contraerá gran parte de ellas de manera simultánea en el órgano estimulado eléctricamente, lo que les causará tetanización y, tal vez, impida su peristaltismo propio bien coordinado, situación poco adecuada o contraindicada.

Una demostración de la influencia sobre fibra lisa se encuentra cuando se aplican corrientes interferenciales que invaden la zona abdominal, de manera que con frecuencia el paciente tiene que ir a evacuar el contenido intestinal.

Cuando las frecuencias son altas (por encima de los 10 Hz), las fibras lisas dejan de ser excitadas y estas frecuencias pierden la capacidad de excitomotricidad sobre músculos lisos.

Tal vez, por la vía de estimular las terminaciones nerviosas de la sensibilidad superficial con intensidades muy bajas se consigan respuestas reflejas de la musculatura lisa de la zona (según el reflejo cutivisceral).

Barridos de 0 a 10 Hz de contorno triangular

Se producen contracciones mantenidas de vasos sanguíneos, pero no tanto de los linfáticos que son mucho más lentos. Esta banda de frecuencias los mantiene constantemente contraídos debido a la lentitud de repolarización de la membrana, pues, si para la fibra estriada la repolarización es de 20 ms, para la fibra lisa puede oscilar entre 100 y 1.000 ms.

Para evitar que los vasos linfáticos se mantengan trabajando sin períodos de relajación, se activará un sistema de vector o el selector de cambio alternativo de circuito (dinámico), que activará una zona mientras la otra descansa unos segundos.

Una técnica muy interesante que puede resultar más apropiada consiste en aplicar un electrodo de tipo manopla, de forma que éste se deslice por la zona avanzando en sentido distal a proximal en pasadas de 2 a 6 s, para que las respuestas motoras de los vasos sanguíneos y linfáticos se generen en esa dirección y cadencia (Fig. 12-32).

Si el equipo está ajustado en VC, el electrodo podrá levantarse, pero si se eligió la modalidad de CC, se pondrá especial cuidado en no perder el contacto. El circuito se cerrará con otro electrodo convencional y así podrá formarse una aplicación bipolar.

Barridos de 0 a 100 Hz de contorno triangular

Debe elevarse la intensidad hasta conseguir de forma clara la respuesta motora de fibra estriada. Clásicamente, se ha considerado que

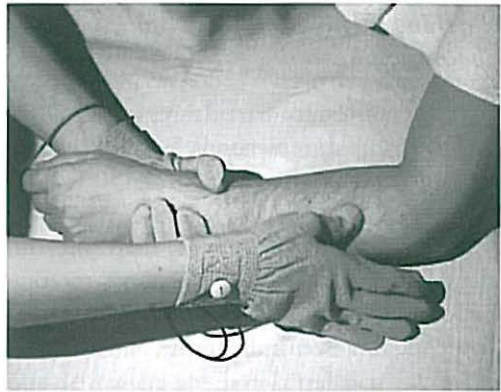


Figura 12-32. Con guantes conductores puede aplicarse la corriente de forma superficial y deslizante para estimular el reflejo cutivisceral y desencadenar la respuesta vasomotora y linfática.

este barrido es el mejor como efecto anti-edema, quizá porque:

- Las frecuencias más bajas contraen y acentúan la evacuación de los sistemas vasculares (al tonificar y mejorar su motricidad).
- Las cercanas a 100 Hz, al contraer los músculos estriados, ponen en movimiento los líquidos en ellos contenidos (bombeo pasivo por efecto esponja).
- Los líquidos bombeados se recogen y se eliminan por la aceleración de la evacuación sanguínea y linfática al volver a las frecuencias más bajas (bombeo activo de la pared vascular y linfática). Este ciclo se repite durante la sesión o serie de un posible programa de tratamiento.

Barridos de 80 a 100, 150, 200 o 250 Hz de contorno triangular

No parece que estas frecuencias afecten a la musculatura lisa de forma directa. Es posible que lo consigan por vía refleja al actuar sobre las terminaciones sensitivas superficiales. Por ello, la intensidad debe permanecer por debajo del umbral motor.

Barridos de 1 a 50 Hz de contorno cuadrangular

Pueden ajustarse barridos cuadrangulares de forma que durante unos 5 s se mantenga en 1 Hz, pase de forma brusca a 50 Hz durante otros 5 s para volver de nuevo a 1 Hz y, así, repetidamente. La intensidad será suficiente como para generar respuestas motoras importantes. Con estos ajustes, se estarán consiguiendo dos efectos distintos:

- Con 1 Hz, los músculos entran en una lenta vibración que moviliza y exprime los líquidos contenidos y próximos. Además, los vasos sanguíneos y linfáticos pueden ser contraídos de forma directa y generar un bombeo activo.
- Durante los 5 s de 50 Hz, el músculo estriado entra en fuerte contracción de su fibra estriada para exprimir los líquidos contenidos en su interior. La fibra lisa entra en reposo por exceso de frecuencia y espera que, al volver a 1 Hz, el músculo estriado se relaje y los líquidos movilizados se bomben.

Efectos sobre el tejido conjuntivo

El tejido conjuntivo se encuentra diseminado por todo el organismo y forma tendones, fascias, ligamentos, cápsulas articulares, membranas sinoviales, cicatrices y fibras de colágeno, en general, con sus especificidades de: fijación de plexos; apertura y cierre de válvulas en vasos linfáticos y venosos; nódulos de concentración de fibrina para englobar y aislar procesos patológicos localizados (fibrosis); fibrillas de adherencia en procesos traumáticos y degenerativos, y fibrillas de fijación y unión entre piel y planos más profundos (su exceso y pérdida de elasticidad genera la celulitis), etcétera.

El tejido conjuntivo debe encontrarse: en su proporción adecuada; elástico y deforma-

ble de forma conveniente; liberado de otros tejidos vecinos; bien irrigado, nutrido e hidratado, y en medios orgánicos fluidos que no empastados o coagulados.

Cuando el tejido conjuntivo pierde su normalidad, da problemas de:

- Rigidez articular en general.
- Estrangulamiento circulatorio y nervioso.
- Pérdida de elasticidad corporal.
- Invasión de otros tejidos.
- Zonas de fibrosis dolorosas.
- Acortamientos y atrapamientos musculares.
- Estrangulamientos y descolgamiento de órganos o vísceras.
- Posibles influencias sobre el sistema inmunitario.

Dado que la fibra del tejido conjuntivo no es contráctil, pero presenta la propiedad de alargarse si se mantiene en tensión durante un tiempo (debido a su comportamiento viscoelástico) con las modulaciones de media frecuencia se influirá en este tejido indirectamente mediante contracciones y tensiones musculares, que causarán así (al referido tejido):

- Movilizaciones vibratorias.
- Tracciones intensas y alternas.
- Tracciones mantenidas durante un tiempo.

Todo ello tendrá el objetivo de liberar y elastificar las fibras, tratando de luchar contra las alteraciones antes enumeradas.

Barridos de 0 a 10 Hz de contorno triangular o frecuencia fija entre 1 y 6 Hz

Es una aplicación muy interesante y de resultados terapéuticos excelentes porque, al contraer los músculos de forma rítmica y vibratoria, se transmite a los tendones, cápsulas, ligamentos, fascias, cicatrices, etc. deformaciones repetitivas en distintos sentidos que tienden a generar elasticidad, desplazamiento

entre planos tisulares y liberación del medio intersticial.

Barridos de 1 a 50 Hz de contorno cuadrangular

Si se ajustan barridos cuadrangulares de forma que durante unos 10 s se mantenga en 1 Hz y pase bruscamente a 50 Hz durante otros 10 s para volver de nuevo a 1 Hz de forma repetitiva (la intensidad suficiente como para generar respuestas motoras importantes), se estarán consiguiendo dos efectos distintos:

- Con 1 Hz, los músculos entran en una lenta vibración que moviliza todas las fibras de colágeno afectadas por las tensiones musculares para desbridarlas y elastificarlas.
- Durante los 10 s de 50 Hz, el músculo estriado entra en una fuerte contracción de su fibra estriada para mantener tenso el tejido conjuntivo afectado a fin de elongarlo y liberar articulaciones junto con otros tejidos. Al volver a 1 Hz, el músculo estriado descansa y se relaja, pero mantiene las tensiones alternativas sobre el colágeno.

Si se aplica la media frecuencia modulada en el equipo (media frecuencia bipolar) con alternancia de circuitos, se añade un efecto muy interesante sobre el sistema linfático mediante las tensiones musculares aplicadas a las fibras de colágeno, que tensan las válvulas de los vasos colectores linfáticos, tensionadas de manera alternativa en sentidos opuestos. Cuando estas válvulas se ven forzadas a su deformación y apertura, admitirán linfa de la proximidad, pero al cambiar las tensiones, la válvula se cierra y la linfa será forzada a circular.

Si el líquido intersticial se encuentra retenido, coagulado, atrapado en la red de colágeno, etc., la zona estará sometida a tensión y rigidez, situación que puede aliviarse por el doble camino de eliminar los líquidos retenidos y la elastificación del colágeno que las contiene.

Si la aplicación es con interferencia externa al organismo y dinámica (producida dentro del aparato y alternando el trabajo de los circuitos), se puede conseguir tracción en dos sentidos distintos de manera alterantiva. Un buen ejemplo puede ser el hombro congelado o retráctil para dar elasticidad a los tejidos periarticulares que se encuentran inflamados, retraídos y más o menos adheridos entre sí o a sus tejidos vecinos (Fig. 12-33), así como la eliminación de posibles derrames articulares. Para ello, se intentará que de manera alternativa trabajen el circuito anterior seguido del posterior o también, el circuito anteroposterior seguido del craneocaudal en la hemicintura escapular tratada.

Efecto sobre las articulaciones

Este apartado es una continuación del anterior, pues el trabajo muscular generará movilidad articular al traccionar sobre tendones y cápsulas.

Los líquidos contenidos dentro de la articulación estarán sometidos a movilización repetitiva; los cartílagos, a presiones alternativas; las cápsulas, a pequeñas deformaciones, y la articulación, a desplazamientos íntimos de mayor o menor amplitud (según la intensidad

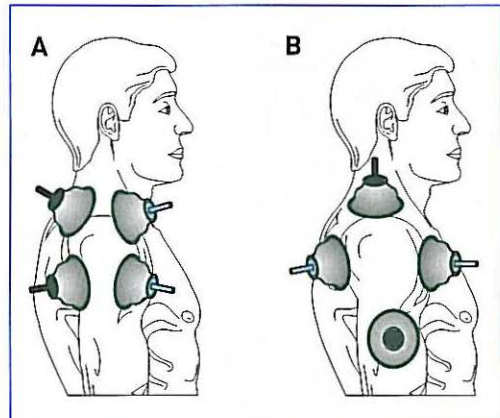


Figura 12-33. Dos aplicaciones que pueden ser tetrapolares o doble bipolar. La tetrapolar produce más analgesia, la bipolar mejor respuesta motora.

de la corriente y el tamaño de la articulación). Esto tendrá consecuencias para evitar:

- Adherencias y sedimentación de la fibrina en el líquido sinovial.
- Mejora nutricional del cartílago.
- Licuación del derrame y su más fácil reabsorción.
- Liberación de edemas capsulares.
- Estimulación propioceptiva.
- Analgesia por desencadenar estímulos aferentes de los mecanorreceptores articulares de tipo I y II, los cuales poseen un componente inhibitor sobre el dolor conducido por las fibras de tipo C.

En la modalidad que se representa en la figura 12-34 A se aplica media frecuencia bipolar con uno o con los dos circuitos; en la figura 12-34 B, la interferencia se conseguirá dentro del organismo.

La opción que se representa en la figura 12-35 A implica pensar en los músculos que influyen en la articulación más que en la in-

fluencia directa de la corriente sobre la articulación (Fig. 12-35 B), pero si se aplica la corriente para que invada la articulación sin consecuencias de micromovilidad articular y sin elasticidad en sus tejidos blandos, los efectos serán mucho más limitados, al aprovechar sólo los de estímulo sensitivo, estímulo propioceptivo y transformación de la corriente en energía térmica (v. «Efectos sobre el tejido conjuntivo», antes, y «Efectos sobre las disoluciones orgánicas», más adelante en este cap.).



Vídeo 12-13. Vibraciones y trenes cortos

No puede olvidarse la influencia en la liberación de la movilidad articular, unas veces por adherencias de los tejidos blandos que impiden su recorrido; otras veces por vía del trabajo muscular se movilizarán de forma intensa e intrínseca las articulaciones.

Es muy frecuente encontrar una rodilla limitada por las adherencias del cuádriceps de forma que las tensiones pasivas aplicadas desde la rodilla no son suficientes. Sin embargo, si se

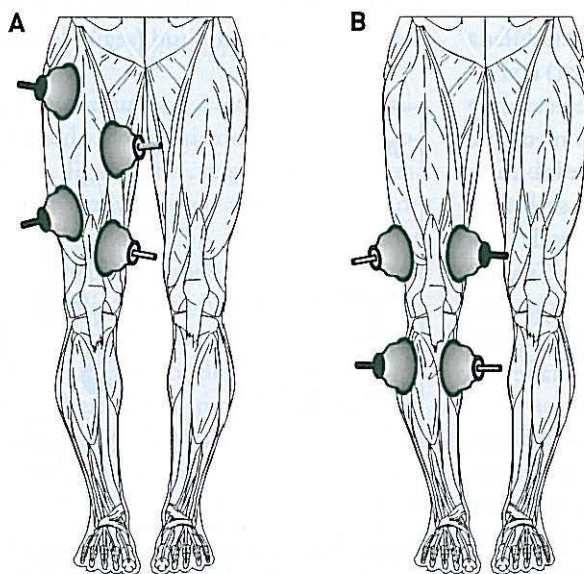
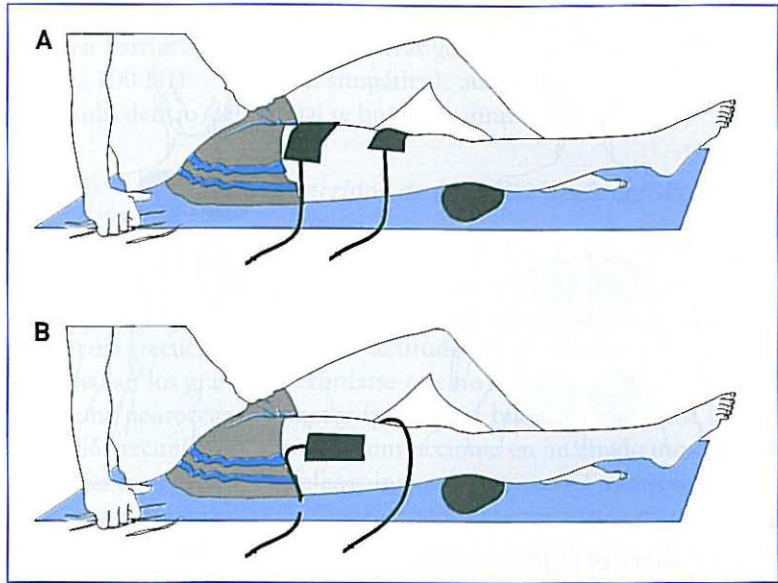


Figura 12-34. A) Aplicación en doble bipolar para respuesta motora del cuádriceps. B) Aplicación tetrapolar para analgesia de la rodilla.

Figura 12-35. A) Colocación bipolar de electrodos en sentido longitudinal sobre el cuádriceps. B) Colocación transversal en el cuádriceps y menos eficaz que la anterior.



consigue que dicho músculo se contraiga de forma intensa y global, él mismo generará microarrancamientos que, sumados, conseguirán una liberación considerable.

Para liberar un cuádriceps de sus adherencias, se regulará el estimulador con:

- Frecuencia de portadora próxima a los 8.000 Hz (se van a requerir intensidades altas) para conseguir contracción de las fibras más profundas.
- Interferencia dentro del equipo o aplicación bipolar con uno o ambos circuitos.
- Modulación cuadrangular en frecuencia fija entre 50 y 80 Hz o un barrido de 50 a 80 Hz con contorno de tren.
- Los trenes de 5 s con pausas de otros 5 s, pues no se buscan contracciones prolongadas, sino que se repitan los cambios de tensión o tracciones fibrilares.
- Los electrodos situados de forma longitudinal a las fibras musculares (Fig. 12-35 A) consiguen aplicar tensión procedente de toda la longitud muscular.
- En caso de que los electrodos se sitúen de forma transversal (Fig. 12-35 B), los peque-

tes musculares que más se contraen están más localizados, pero se pierde la tensión longitudinal.

Es muy interesante el efecto vibratorio en la espalda para micromovilizar las vértebras, unas respecto a otras, pues se genera un fuerte estímulo analgésico y relajante siempre que la lesión o estado de agudeza lo permita (Fig. 12-36).

El efecto se basa en la estimulación de los mecanorreceptores de tipo I y II que provocan analgesia y relajación en la musculatura cercana. El estímulo de dichos mecanorreceptores se consigue movilizand las cápsulas articulares al ritmo de 1 a 6 veces por segundo (cada zona y cada paciente requiere su frecuencia). Según la teoría de las endorfinas (si fuera cierta), éste sería el mecanismo que estimula la secreción de neurotransmisores que inhiben la conducción y la transmisión del dolor.

Se puede regular el estimulador en frecuencia fija ajustada entre 1 y 6 Hz (la más relajante para el paciente) con modulación cuadrangular y modulación dentro del aparato, aplicación bipolar que alterna los circuitos. La forma más sencilla de esta aplicación utiliza trenes.

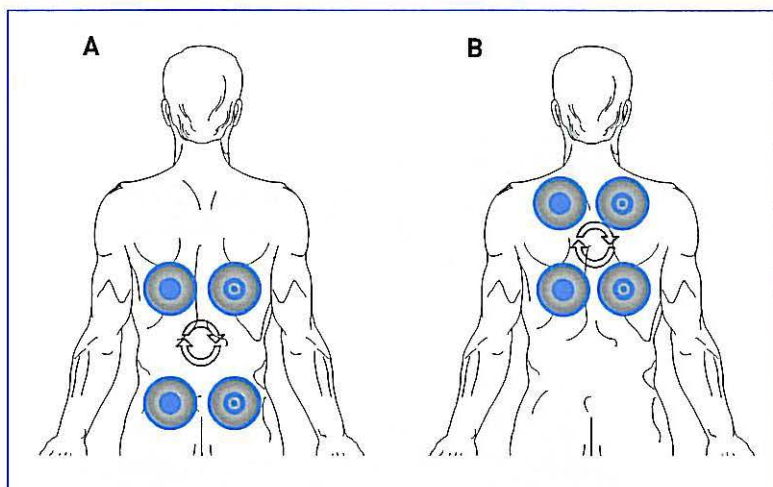


Figura 12-36. A) Colocación doble bipolar sobre los músculos para-vertebrales lumbares para vibración muscular alternada. B) Colocación doble bipolar en los músculos paravertebrales torácicos para vibración muscular alternada.

Efectos sobre el tejido nervioso

La fibra nerviosa, en este caso, recibe ondas moduladas en amplitud, las cuales estimulan el nervio motor y sensitivo. Puede asegurarse que, siempre que se manifieste sensación de calambre porque una corriente invade al paciente, podrá afirmarse que está despolarizando las terminaciones nerviosas sensitivas.

Los equipos de media frecuencia de última generación extienden su banda de interferencia o modulación hasta los 250 Hz y tienen en cuenta que las fibras sensitivas superficiales son de conducción rápida y, por consiguiente, admiten, perfectamente, frecuencias por encima de los 100 Hz que se usaban como máximo en los viejos equipos.

Cuando se piensa en estimular el sistema sensitivo, puede elevarse la frecuencia de modulación sin problemas por encima de los 100 Hz. Sin embargo, si se busca estímulo en el nervio motor, no se superarán los 100 Hz. Asimismo, para estímulos motores se elegirán contornos de trenes de forma preferente. Para estímulos sensitivos, puede mantenerse la corriente de manera más o menos indefinida, pero se introducirán variantes o barridos de contorno triangular y trapezoidal.

Por lo que se refiere a respuestas neurovegetativas y motoras musculares (vía excitación nerviosa), se ponen de manifiesto cuando se estimulan de forma preferente zonas de los plexos nerviosos y puede observarse cómo el resto del miembro manifiesta respuestas de contracción muscular y vegetativa. Por ejemplo, si se coloca una aplicación, bipolar o tetrapolar, sobre los orígenes del plexo cervicobraquial, se apreciarán respuestas sensitivas (adormecimiento), motoras (aumento del tono muscular) y vegetativas (cambios de color y sudoración) en el miembro superior correspondiente. Lo mismo suele suceder en los miembros inferiores si se estimula el plexo lumbosacro.

Si sólo se buscan efectos sensitivos, nunca deberá olvidarse la observación y el control sobre las respuestas motoras que puedan aparecer a cierta distancia del punto de aplicación y de la intensidad recibida por el paciente, dado que pueden provocar calambres musculares, hipertonicidad mantenida o, incluso, zonas de ciertas hiperestesias, ya que cuando menos serán desagradables para el paciente.

La media frecuencia modulada en baja origina corrientes que cada vez se utilizan más para el trabajo muscular, pues producen estimulación en puntos motores nerviosos. Para ello se programarán:

- Modulación (cuadrangular de forma preferente) en frecuencia fija o en barridos que oscilen sobre 80 Hz (de 70 a 100 Hz).
- Con interferencia conseguida dentro del aparato.
- Contorno de trenes regulados de forma automática o mediante aplicación intencionada.
- Aplicación bipolar.

Es muy habitual aplicar media frecuencia en la espalda, zona en que se hallan los grandes ganglios nerviosos del sistema neurovegetativo y su consiguiente inervación secundaria, y es posible que algunas personas manifiesten importantes reacciones de tipo general o respuestas a cierta distancia de la zona tratada, sobre las cuales el paciente comenta el empeoramiento de su proceso, malestar general o dolores nuevos debidos a la aplicación de estas corrientes.

Deberá tenerse precaución con las glándulas suprarrenales, pues dado que estas corrientes presentan un fuerte poder de penetración, influyen con cierta facilidad en estas glándulas y desencadenan la secreción de adrenalina y

noradrenalina que provocarán respuestas neurovegetativas generalizadas (respuestas típicas del simpático), aunque de forma circunstancial se busque estimularlas.

Barridos de 80 a 100 Hz de contorno triangular

Parece que muestra su máximo poder de analgesia sobre dolores agudos e incapacitantes por actitudes de defensa muscular. Debe recordarse que no hay que superar el umbral motor (pues no es buscado), ya que si se provocan contracciones en un estado muscular de defensa intenso se acentuará más el dolor.

Por ejemplo, para tratar una ciática aguda puede aplicarse la banda de 80 a 100 Hz con interferencia dentro del organismo, para alcanzar profundidad, y los electrodos situados deben hallarse en sentido longitudinal al trayecto nervioso (Fig. 12-37 A) en ciáticas con irradiación a muslo y para las que descienden hasta la pierna y el pie (Fig. 12-37 B). Se evitará que provoquen respuesta motora regulando intensidades que se irán subiendo de manera progresiva durante la sesión a la par

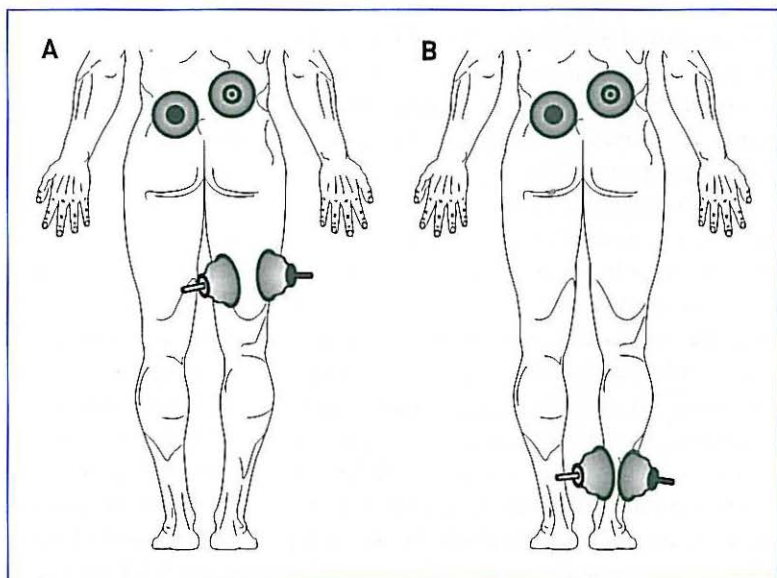


Figura 12-37. A) Colocación tetrapolar clásica para una ciática con irradiación corta. B) Colocación tetrapolar para una ciática hasta el tobillo.

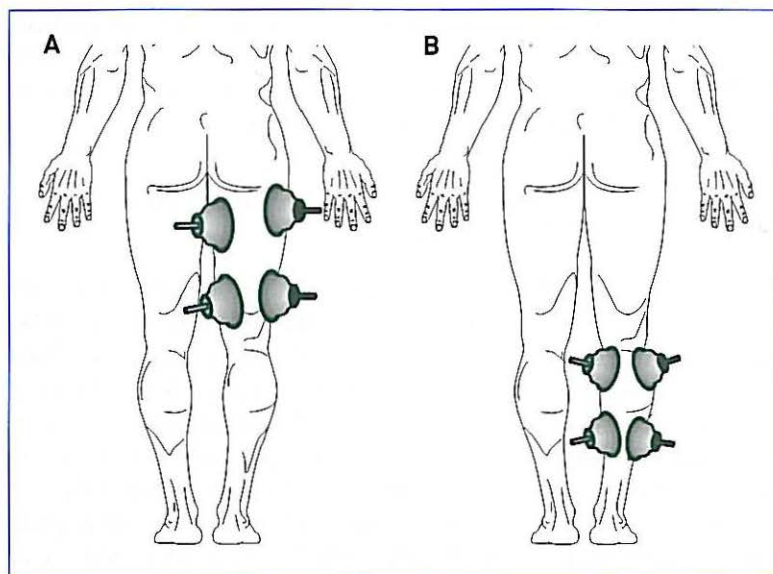


Figura 12-38. A) Colocación doble bipolar sobre los músculos isquiotibiales para vibración muscular. B) Colocación doble bipolar en tríceps para vibración muscular.

que el paciente se acostumbra, pero se intentará que no aparezca la contracción muscular.

En las ciáticas ya cronificadas y con contracturas, pueden generarse respuestas motoras que hagan vibrar los músculos contracturados a fin de relajarlos (músculos isquiotibiales en Fig. 12-38 A y tríceps en Fig. 12-38 B). Para ello, se regulará el estimulador en barridos de 0 a 5 Hz o se buscará una frecuencia de modulación fija entre 1 y 6 Hz (aquella que el paciente sienta como más relajante), asimismo, se intentará que la modulación se produzca dentro del equipo y se situarán los electrodos en forma de doble bipolar con ambos circuitos.

Para conseguir la mejor respuesta motora en este caso, se eludirán los trayectos nerviosos y se situarán los electrodos directamente sobre masas musculares (Fig. 12-38). La intensidad será lo bastante elevada como para conseguir respuestas musculares relativamente intensas, pero no dolorosas. Es mejor regular la modulación en cuadrangular siempre que se busquen respuestas motoras bien definidas.

En esta modalidad de aplicación debe tenerse en cuenta una precaución importante si los barridos o la frecuencia fija superan los

10 Hz; a partir de esta frecuencia, el músculo se mantiene contraído y, si estas potentes masas musculares entran en contracción sin resistencia, pueden tetanizarse o «acalambrarse», con lo que en el paciente se producirá un episodio molesto y doloroso. En el terapeuta provocará una situación bochornosa.

Seudoanestesia

La aplicación de una corriente portadora con un único canal, de frecuencia comprendida entre 4.000 y 6.000 Hz y modulación cero (corriente mega-A) consigue efectos de seudoanestesia sobre la zona. Dicha seudoanestesia, tal vez, se alcance por invasión del período refractario en la repolarización de la fibra nerviosa, despolarizándola y manteniéndola despolarizada durante un tiempo. De forma que si la sesión se mantiene un mínimo de 10 minutos, la zona aparece con la sensibilidad y otras funciones nerviosas anuladas temporalmente. Cabe aquí la duda sobre si la alteración temporal de la fisiología en la polaridad de la fibra nerviosa es precisamente «correcto fisiológicamente hablando».

Esta sensación de «adormecimiento nervioso», así expresado por los pacientes, seguramente es el generador del importante componente analgésico en los procesos agudos. Este efecto siempre se mantiene de fondo cuando se aplica media frecuencia con modulaciones, aunque no sea tan intenso como si aplicamos un circuito en modulación cero.

Al principio del capítulo ya se planteaba la posibilidad de que el efecto antiálgico se deba más a la portadora que a las modulaciones; y dado que en las aplicaciones tetrapolares, cerca de los electrodos predomina el campo eléctrico de la portadora y en la zona de cruce aparecen las modulaciones, pero también las portadoras, es posible que en dichas aplicaciones tetrapolares muy potentes en analgesia, realmente, esa potencia se deba a la portadora más que a las modulaciones.

Efectos sobre las disoluciones orgánicas

Por el hecho de no tener polaridad, la media frecuencia seguramente no debe ocasionar efectos electroquímicos ni iónicos dignos de men-

ción semejantes a los galvánicos. Pero, por otra parte, es posible que mejore dicho intercambio a causa de la agitación molecular o electrolítica en las disoluciones orgánicas debido a la invasión de una energía ajena al medio, oponiendo resistencia, que al ser vencida generará pequeñas cantidades de calor, disminuyendo la viscosidad del ambiente electrolítico y provocando una ligera vasodilatación como mecanismo de termorregulación, con sus consiguientes consecuencias fisiológicas para la zona.

Modulación a 0 Hz

Para conseguir el mayor efecto como aporte energético (al buscar la generación de calor intratisular), se pueden situar los electrodos en modalidad bipolar o tetrapolar, pero la modulación será 0 y portadora próxima a 10.000 Hz. La modulación a 0 Hz aportará la mayor cantidad de energía eléctrica al medio (Fig. 12-39), aunque no como respuesta motora y débilmente sensitiva. De todas formas, la energía térmica generada rara vez alcanzará a estimular los termorreceptores.

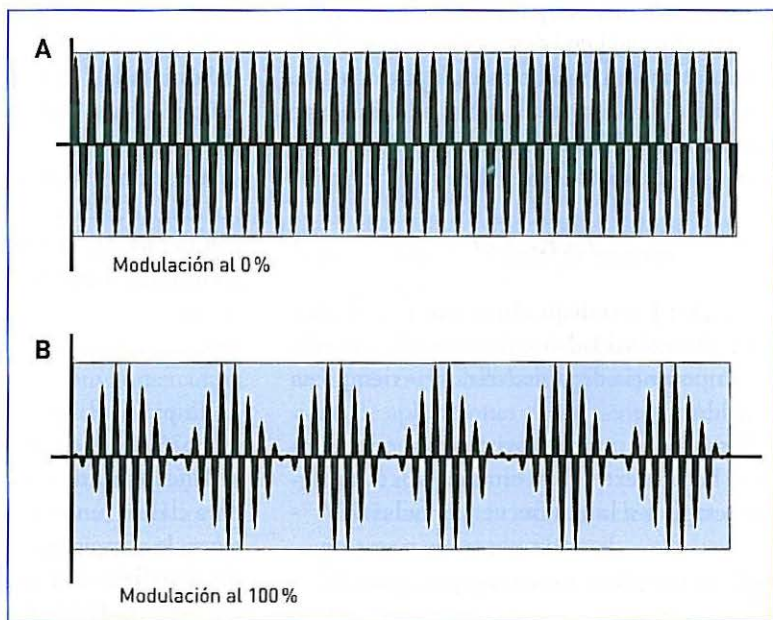


Figura 12-39. A) Portadora sin modular. B) Portadora modulada. La zona gris de fondo en A es más pequeña que la zona gris de fondo en B. Se aporta más energía en A que en B.

En la figura 12-39 se representan dos tipos de modulación: la de 0 Hz o 0 % de modulación y otra al 100 % de modulación en cualquier frecuencia. Si se observa el fondo gris, que quiere representar una energía total, en modulación 0 se ocupa más, pero en otras modulaciones la proporción de zona gris que resulta libre es mucho más amplia, lo que indica que el aprovechamiento disminuye de forma muy importante:

- Si se busca un estímulo sensitivo, se regulará la portadora a la más baja posible (2.000 Hz en general).
- Si se desea aumentar más el estímulo sensitivo (y motor), se efectuarán modulaciones cuadradas en frecuencias entre 50 y 150 Hz.
- Pero, si se pretende un aporte energético, se elevará la portadora (sin modulaciones) a los valores mayores (10.000 Hz). En 10.000 Hz puede sentirse calor con facilidad dado que permite aumentar la intensidad de manera considerable.

De acuerdo con la física, siempre que circule energía por la materia, parte de ella se absorberá y se transformará en otra, según la intensidad, la frecuencia, la impedancia de la materia, etc. Para tratar de averiguar la cantidad de energía transformada, deberá aplicarse la ley de Joule en alguna de sus fórmulas, como:

$$J = I^2 \cdot Z \cdot t$$

Siendo: J = trabajo obtenido; I^2 = el cuadrado de intensidad circulante por la materia; Z = impedancia de la materia, y t = tiempo en segundos.

Según este punto de vista energético, podrían hacerse extensivos estos efectos a la magnetoterapia y a la alta frecuencia pulsátil.

Frente a las corrientes de este tipo, el organismo se comporta de manera predominante como un conductor de primer orden: donde no hay cambios químicos, sólo habrá desplazamiento de «vaivén» de cargas eléctricas sin electrólisis. A pesar de ello, si se hallan situaciones de endoprótesis u osteosíntesis metálicas, no se utilizarán estas corrientes, pues el aumento del metabolismo y los efectos punta del metal generarán concentraciones eléctricas que pueden provocar quemaduras y ataques electroquímicos de los iones al metal, por lo general, desencadenantes de reacciones de rechazo.

Puesto que los equipos de media frecuencia pueden trabajar en tensión constante, si entre los tejidos disminuye de forma muy importante la resistencia por la interposición de un metal, la cantidad de energía que se concentra en él aumentará de forma exagerada.

Un ejemplo de tratamiento que busca la fluidificación y mejora del trofismo puede encontrarse en los derrames articulares densos y pastosos que no se reabsorben con facilidad. Con esta modalidad se contribuirá a su licuación y reabsorción, por ejemplo, en la rodilla (Fig. 12-40).

Se ajustará el estimulador a una portadora próxima a los 10.000 Hz, modulación dentro del equipo para utilizar un sólo circuito (Fig. 12-40 A), aunque también pueden usarse los dos y cruzarlos dentro de los tejidos (Fig. 12-40 B). La modulación fija a 0 Hz y el tiempo de la sesión bastante largo (entre 20 minutos y media hora).

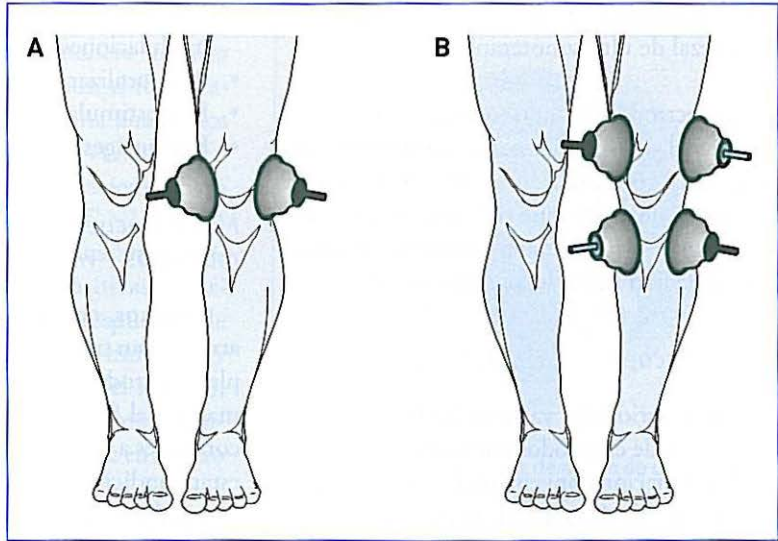
Efectos sobre la piel

La piel y el resto de los tejidos presentan menos resistencia eléctrica (en este caso, impedancia) frente a las frecuencias de la portadora clásica (unos 4.000 Hz de media). Por lo tanto, la energía eléctrica se introducirá mejor sin agredirla. Por ser alterna, esta corriente no tiene polaridad ni tampoco aparecerán



Vídeo 12-14. Bursitis con guantes eléctricos

Figura 12-40. A) Aplicación bipolar sobre la rodilla con portadora alta para aporte energético. B) Aplicación tetrapolar en modulación 0 y portadora alta para aporte energético y mejora del trofismo.



los efectos de irritación galvánica en la piel. Como se ha descrito, las frecuencias próximas a 2.000 Hz por sí solas (sin modulación) poseen efecto sensitivo y ligeramente irritante sobre la piel, pero, al acercarse a los 10.000 Hz, no se llegan a estimular las terminaciones sensitivas de la piel y, en consecuencia, las molestias subjetivas y reacciones de defensa se reducirán al mínimo.

En muchas ocasiones, es mayor la agresión producida por el mecanismo de succión de las ventosas que por la estimulación eléctrica. No suelen producirse quemaduras eléctricas en la piel, pero deben aplicarse importantes precauciones cuando existan osteosíntesis o endoprótesis metálicas debido a la profundidad que alcanza la corriente y las fuertes cargas eléctricas puestas en movimiento. Aunque no producirán quemaduras químicas, como en el galvanismo, pueden hacerlo como quemadura calórica en las puntas o bordes de tornillos, clavos, agujas, placas, etc. No debe olvidarse que, por trabajar en tensión constante (VC), al disminuir la resistencia, aumenta la intensidad circulante, la cual se concentrará en los mejores conductores, lo que provocará daños en los tejidos que se hallan en contacto con

el metal. En intensidad constante (CC) deben usarse los electrodos convencionales en lugar de las ventosas.

Aunque se afirma que estas corrientes no queman, si se trabaja con intensidades altas y electrodos pequeños, en la piel se puede encontrar la correspondiente quemadura aunque no será tan grave como si fuera electroquímica.

Los moratones que pueden encontrarse al retirar las ventosas se deben al exceso de succión y no al paso de corriente. En caso de aplicar la rectificación de alterna a componente galvánico, podrán encontrarse problemas de irritación o quemadura galvánica.

Otras formas de aplicar media frecuencia

Hay equipos que están dotados de ciertas variantes o posibilidades para ejecutar diversidad de aplicaciones de corrientes interferenciales o media frecuencia, como pueden ser:

- Media frecuencia local por electrodos tetrapolares o electrodo puntual.
- Mediante electrodos manoplas y con vibrador de masaje.

- Combinado con ultrasonidos a través del cabezal de ultrasonoterapia.

El electrodo de interferencia local o tetrapolar local y el vibrador combinado con media frecuencia generan la interferencia dentro de los tejidos, mientras que el resto son aplicaciones bipolares y por supuesto con interferencia o modulación fuera de los tejidos.

Media frecuencia local o puntual

Con anterioridad ya se ha hecho referencia a tres tipos de electrodos para aplicación local: uno para fijación convencional a modo de una placa cuadrada de goma, de unos 8 cm de lado (Fig. 12-28 A) con la implantación de cuatro electrodos de goma semiconductora en sus respectivas esquinas separados entre sí. El segundo método (Fig. 12-28 B) se basa en el mismo esquema, pero el sistema de electrodos está acoplado a una ventosa con sus cuatro esponjillas. El tercero (Fig. 12-29) consiste en un electrodo puntual y manual para buscar las zonas donde se pretenda estimular durante el tiempo y la movilidad deseados. No puede olvidarse el potencial que ofrece la terapia combinada a través del cabezal de ultrasonidos.

Esta forma de electrodo está destinada a producir interferencia localizada en un punto o en pequeñas zonas. El objetivo terapéutico será la analgesia en tendinitis, pequeños desgarros tisulares, esguinces, estímulo de puntos gatillo, contracturas de pequeños músculos, etcétera.

Cuando se empleen estos sistemas para analgesia, en general se aplicarán modulaciones en frecuencias elevadas (entre 50 y 200 Hz, bien en frecuencias fijas o en barridos), pero sin superar las respuestas motoras. Si se destinan a respuesta motora sobre puntos motores musculares o nerviosos, se aplicarán como vibraciones musculares o como contorno de trenes para trabajo muscular.

El electrodo puntual ofrece muchas posibilidades:

- Para tratamiento de parálisis periféricas con modulaciones triangulares aisladas.
- Para localizar puntos motores.
- Para estimular puntos gatillo.
- Para analgesia de puntos concretos, etcétera.

Media frecuencia con electrodos manoplas y vibrador de masaje

Algunos equipos de media frecuencia acompañan su instrumental con sendas manoplas electrodos destinadas a ser fijadas bajo las manos del fisioterapeuta a fin de aplicar estas corrientes a la vez que se efectúa un masaje. Al estar condicionados por el uso de dos electrodos, obliga al hecho de que la modulación se genere dentro del aparato (Fig. 12-41).

La técnica requiere una maniobra específica en el movimiento y desplazamiento de las manos, con la precaución de mantener siempre en contacto con la piel los dos electrodos y así evitar los posibles fallos en la apertura del circuito. La referida maniobra consiste en avanzar sobre la superficie corporal de manera que, al despegar los dedos para cambiar el apoyo, se mantiene el talón de la mano girando para permitir un nuevo emplazamiento de los dedos y, una vez que se han apoyado los dedos, se levanta el talón de la mano para



Figura 12-41. Deslizamiento de electrodos manoplas o guantes conductores para explorar y aplicar tratamiento con media frecuencia o con baja frecuencia.

buscar un nuevo sitio girando sobre el apoyo de los dedos. Si se repite de manera sucesiva esta maniobra con las dos manos, el fisioterapeuta podrá moverse por la zona anatómica deseada. Si el equipo trabaja en VC, los fallos de contacto no molestarán al paciente, pero molestarán cuando trabaje en CC.

Esta aplicación se practica buscando estímulos de las terminaciones sensitivas superficiales con el fin de provocar respuestas de motricidad vascular sanguínea y linfática (y así reforzar el efecto evacuatorio del masaje), por lo que la intensidad es muy suave y la sensación del paciente debe mantenerse en «ligero calambriño eléctrico».

Para estimular las fibras exteroceptivas rápidas, puede ajustarse una frecuencia fija entre 80 y 150 Hz o un barrido con este espectro. La modulación será cuadrangular para estimular con mayor eficacia. La portadora será de 2.000 Hz para provocar mayor respuesta sensitiva.

En procesos subagudos en que interese disminuir hipertonías musculares, pueden intentarse vibraciones musculares con una frecuencia fija entre 1 y 6 Hz, *modulación sinusoidal y portadora de 4.000 Hz*. La intensidad se elevará lo suficiente como para alcanzar *respuesta motora vibratoria moderada*. En esta aplicación es posible que se esté obligado a evitar ciertos puntos de hipersensibilidad que desencadenarán dolor.

En procesos crónicos en que es fundamental disminuir hipertonías musculares, pueden intentarse vibraciones musculares con una frecuencia fija entre 1 y 6 Hz, *modulación cuadrada y portadora de 2.500 Hz*. La intensidad se elevará lo suficiente como para alcanzar *respuesta motora considerable*.

Esta técnica es muy potente (y es mejor si se realiza con guantes conductores) porque puede usarse de forma exploratoria y para tratamiento. Si se aplica a ambos lados de la columna y se buscan las salidas de los ramos nerviosos, con bastante seguridad se encontrarán irradiaciones dolorosas sobre patologías a distancia como en la cintura escapular, la

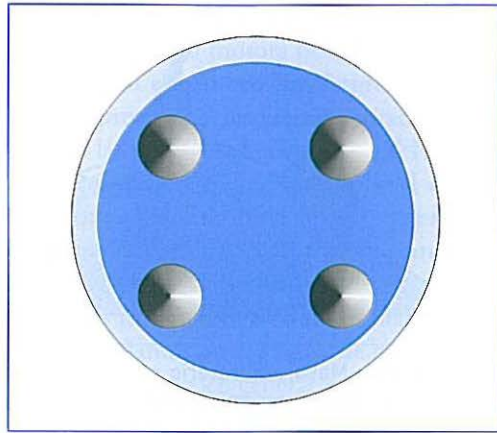


Figura 12-42. Zona o cara de apoyo de un vibrador para masaje, cuyo cabezal contiene cuatro electrodos para aplicar corrientes interferenciales tetrapolares a la vez que se realiza el masaje.

cintura pélvica, los miembros inferiores y los miembros superiores; estas irradiaciones proceden de la raíz secundaria del sistema neurovegetativo o de la raíz primaria.

En su momento, proliferaron vibradores de masaje que incluían cuatro electrodos metálicos en la zona de contacto corporal (Fig. 12-42), debidamente recubiertos con una gamuza humedecida. La modulación debía realizarse de modo tetrapolar, es decir, sobre el paciente.

Los objetivos fundamentales se basaban, por un lado, en provocar el estímulo motor de los vasos evacuatorios de la zona que contenían los líquidos movilizados por la vibración mecánica del masaje (Fig. 12-43). Por otro lado, la sobrecarga de estímulos mecánicos y eléctricos en la zona desencadenaban de forma eficaz la analgesia local por el efecto puerta (*gate control*). En los dos casos se pretendía que el paciente sintiera un estímulo eléctrico superpuesto a la vibración mecánica, lo cual requería ajustar y elevar la intensidad hasta conseguirlo.

Tanto para el primero como para el segundo objetivo se podía aplicar una modulación en frecuencia fija entre 80 y 150 Hz o barridos entre ambas frecuencias. Si era posible, se elegía modulación cuadrangular y portadora

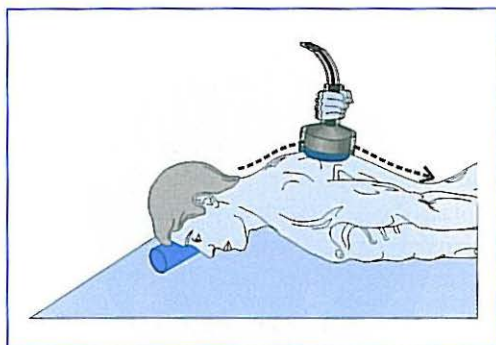


Figura 12-43. Masaje vibratorio con un cabezal que, a la vez, aplica corrientes interferenciales.

próxima a los 2.000 Hz, para alcanzar con eficacia la respuesta sensitiva. Los pacientes después de recibir unos 10 minutos de sesión con este doble estímulo se levantaban de la camilla comentando el importante adormecimiento y liberación que sentían en la espalda. Por desgracia, algunas herramientas muy potentes e interesantes tienden a perderse en el olvido.

Media frecuencia combinada con ultrasonidos

Se remite al lector al apartado «Tratamiento combinado de ultrasonidos con electroterapia», en el capítulo 15.

Existen equipos con ambas funciones o de electroterapia sólo (tanto en baja como en media frecuencia) que permiten la interconexión con otro equipo de ultrasonidos a fin de que el cabezal actúe con una doble función: como electrodo y como aplicador ultrasónico. En cuanto al cabezal como electrodo, formaría circuito con otro convencional y de mayor superficie, a modo de indiferente o masa, conectado al estimulador eléctrico (Fig. 12-44). Lógicamente, la aplicación de ultrasonidos y media frecuencia son (o pueden no ser) simultáneos.

En esta ocasión, uno de los dos electrodos es metálico dado que el cabezal de ultrasonidos no puede protegerse mediante gamuzas humedecidas que impidan la transmisión sonora. Esto genera riesgos a la hora de posibles molestias o irritaciones eléctricas bajo el cabezal, circunstancia que obliga a moderar la intensidad, ajustar corrientes sin componente galvánico y extender por la zona de tratamiento el gel conductor de ondas sonoras con más abundancia de lo habitual para intentar interponer «algo a modo de gamuza» que aumente la resistencia eléctrica entre el metal y la piel. Siempre se regulará el equipo estimulador para que trabaje en VC, pues ello consentirá fallos en el contacto sin molestias para el paciente, aunque también puede generar molestias frente al excesivo contacto del cabezal sin gel.

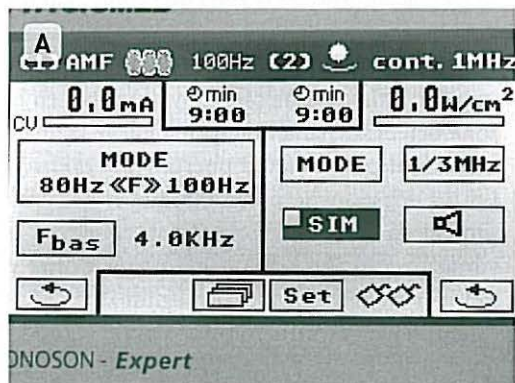


Figura 12-44. A) Se prepara un estimulador para terapia combinada de una modulada bipolar de 80-100 Hz con ultrasonidos continuos a 1 MHz. B) Se aplica dicha terapia combinada sobre el tendón rotuliano para conseguir analgesia. La opción SIM establece la unión entre el estimulador y el aplicador de ultrasonidos.

Este tratamiento busca un triple efecto: característico de ultrasonidos en primer término, masaje propio del deslizamiento del cabezal, en segundo lugar, y el del estímulo eléctrico sensitivo o motor.

Dado que la intensidad de la corriente debe estar bien controlada, se permanecerá en estímulos de terminaciones sensitivas superficiales que desencadenarán reflejos motores vegetativos bajo la zona de aplicación. Entonces, por efectos de micromasaje celular y micromovilización molecular, junto con el «poco calor» generado por ultrasonidos, se sumarán al masaje de deslizamiento del cabezal y a la reactivación motora del riego linfático o sanguíneo de la zona tratada, y actuarán en un grado importante como antiflogístico, antiedema, desbridante tisular mediante vibraciones musculares y reactivación metabólica. Esta técnica también se utiliza con otras corrientes de baja frecuencia, además de las modulaciones en media frecuencia.

Si se desliza el cabezal sobre masas musculares, podrá pensarse en aplicar vibraciones musculares para relajar. Si se actúa sobre trayectos nerviosos, se ajustará la corriente según el punto de vista sensitivo. Si se pretende aumentar la respuesta de hiperemia local, se buscará una corriente irritante sobre las terminaciones nerviosas que desencadene una repuesta cutivisceral sobre la zona de deslizamiento del cabezal.

Además, el cabezal de ultrasonidos puede emplearse a modo de electrodo puntual para encontrar puntos dolorosos según la técnica de galvanopalpación, localizar zonas inflamadas, buscar puntos motores, tratar puntos gatillo, etcétera.

Para conseguir los efectos antes referidos, pueden aplicarse frecuencias fijas entre 50 y 150 Hz o barridos en este espectro, y buscar el reflejo cutivisceral por estímulo de las terminaciones exteroceptivas rápidas. Además, pueden ajustarse barridos de amplio espectro (0-100 Hz) y tratar de provocar la respuesta

directa de la musculatura lisa de los vasos, así como la respuesta motora de la fibra estriada para mejorar el bombeo circulatorio.

Si se pretenden respuestas vibratorias, se ajustará la frecuencia fija entre 1 y 6 Hz para relajar los músculos cuando el cabezal se desliza sobre ellos. Esta modalidad requiere que la intensidad eléctrica sea importante, lo que obliga a prestar cuidados cuando se pase por zonas muy sensibles al dolor debido a su nivel de inflamación o a causa de puntos nerviosos en que pueden generarse respuestas sensitivas o motoras excesivas.

En los puntos gatillo se reducirá la potencia ultrasónica para evitar daños propios del exceso ultrasónico (v. «Precauciones», en el cap. 15) en tanto que la corriente aplicada debe generar un estímulo sensitivo intenso y monótono con una corriente modulada en frecuencia fija de unos 100 Hz y, si es posible, en modulación cuadrangular. Se mantiene el cabezal o el electrodo puntual una media de 90 s y se retira cuando se detecte la bajada en el tono muscular o la desaparición del dolor reflejado (v. «Electroanalgesia con electrodo puntual», en el cap. 8).

Dependiendo de si se atribuye más importancia al efecto ultrasónico, al estímulo eléctrico o a ambos de manera simultánea, se tratará de ajustar las dosis de forma adecuada. Por ejemplo, si se desea aplicar, sobre todo, la corriente emergente por el cabezal, no es necesario que la dosis ultrasónica tenga precisión; con el mínimo de ultrasonidos, para que el sistema funcione, es suficiente. Sin embargo, si la sesión es completa en ambos sentidos, ultrasonidos y estimulación, las dosis se cuidarán en ambos casos.

Algunas aplicaciones

Potenciación muscular

Como ya quedó descrito en los capítulos anteriores (v. cap. 11), para superar problemas de

algunas corrientes de baja frecuencia, se acude a la media frecuencia modulada en baja a fin de conseguir intensas contracciones musculares y formar trenes con ella. Se hace referencia a la corriente de Kots o estimulación rusa.

A partir de los requerimientos del mundo del deporte de máximo rendimiento aparece la necesidad de manejar corrientes intensas (Fig. 12-45), pero que no dañen a los tejidos, que no produzcan quemaduras bajo los electrodos y que resulten soportables a nivel sensitivo.

Para ello se piensa en las modulaciones de media frecuencia por anularse en ellas el componente galvánico, por molestar poco al paciente, por alcanzar profundidades importantes y por admitir perfectamente grandes electrodos e invadir amplias masas musculares.

A partir de ese momento, los equipos de media frecuencia tienen que aportar cambios en el diseño dirigidos a la formación de trenes, como:

- Modulación dentro del equipo, es decir, aplicaciones bipolares de uno o de ambos circuitos.
- Conseguir modulaciones cuadrangulares más eficaces que las sinusoidales, lo que permite un tiempo de silencio eléctrico o reposo entre modulación y modulación, muy adecuada para respetar la fisiología del período refractario en la membrana de la célula muscular y nerviosa.

- La corriente portadora contenida dentro de las modulaciones se establece en 2.500 Hz como media. Pueden usarse 4.000 Hz o más, pero cuanto mayor sea, más intensidad se requerirá por pérdida de excitomotricidad. Los equipos de última generación permiten ajustar y elegir entre 2.000 y 10.000 Hz. Las portadoras bajas son más superficiales; las portadoras altas son más profundas.
- Posibilidad de regular la frecuencia de las modulaciones entre 10 y 100 Hz para adaptarse a los distintos tipos de fibras musculares, con procesos patológicos, lentas, medias o rápidas.
- Posibilidad de regular, dentro de la misma frecuencia, la razón existente entre el tiempo de la modulación y su reposo para adaptarse a fibras rápidas o lentas, nerviosas o musculares, la tolerancia del paciente o mayor o menor intensidad (Fig. 12-46).
- Conseguir que dichas modulaciones se agrupen en trenes y pausas con distintos tiempos (desde trenes de 0,5 a 30 s y pausas de 0,5 a 60 s). Además, se regularán las rampas de subida y bajada (sobre todo, la de subida) para que el esfuerzo alcance su máximo de forma progresiva o brusca; las rampas pueden oscilar entre 0 y 3 s (v. cap. 11, Fig. 11-11).



Vídeo 12-12. Ratio pulso-reposo en Kots

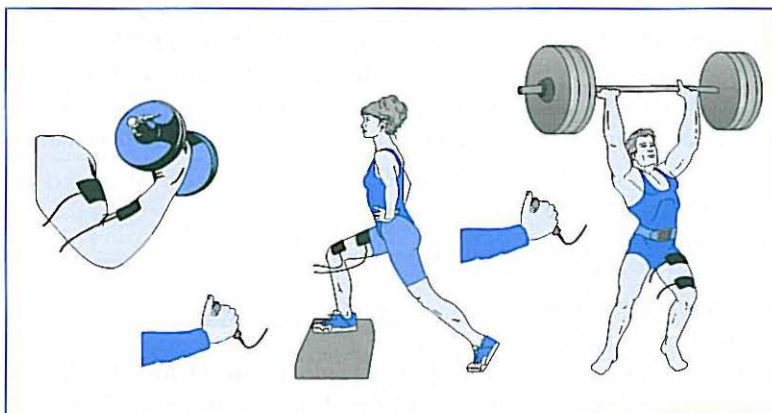


Figura 12-45. Gestos deportivos en los que se puede aplicar estimulación eléctrica para aumentar el desarrollo de potencia muscular.

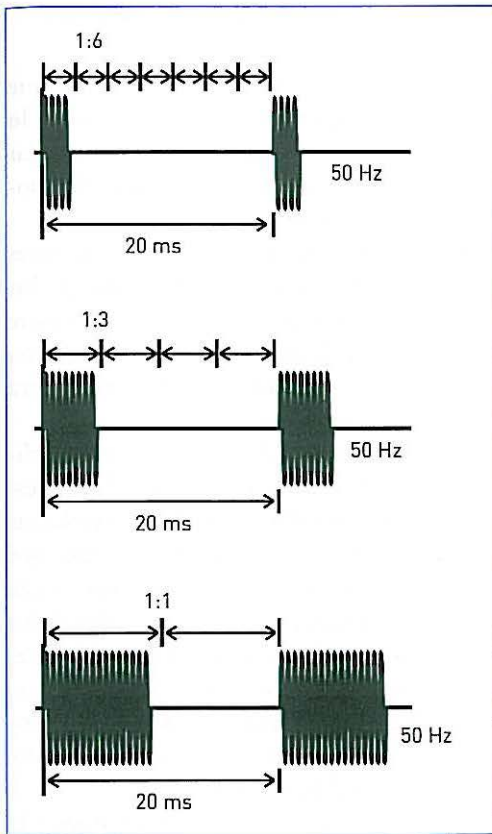


Figura 12-46. Sistema de ajuste entre modulación y reposo (sin influir en la frecuencia) basado en la razón aritmética «pulso:reposo».

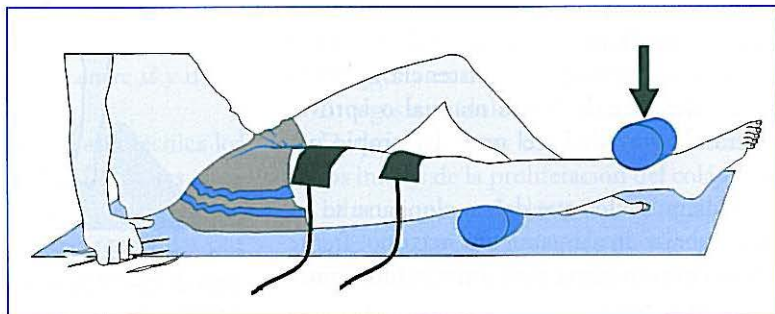
La potenciación muscular con estas corrientes requiere grandes contracciones de grupos musculares y el estímulo eléctrico se superpone al trabajo activo resistido, circunstancia que convierte en muy útil el sistema de

aplicación intencionada. Los métodos potenciadores son muy diversos en cuanto a formas y tiempos de trabajo. Pueden realizarse ejercicios isométricos resistidos (Fig. 12-47), isotónicos concéntricos resistidos, isotónicos excéntricos resistidos, en cadena cerrada, en cadena abierta, etcétera.

En cuanto al tiempo y modos de potenciar, se remite al lector al apartado «Potenciación muscular», en el capítulo 11. Entre las variantes se citan las siguientes:

- Pueden realizarse, en primer lugar, contracciones moderadas para calentar el grupo muscular de 5 a 10 minutos, destinadas a la musculatura lenta. Puede seguirse con 10-15 minutos de intensas contracciones destinadas a musculatura rápida, para entrar, por último, en un período de unos 5 minutos de relajación con vibraciones musculares.
- Provocar alrededor de cinco largas contracciones diarias de 20 a 30 s, con un descanso de 1 a 3 minutos entre cada contracción.
- Otros métodos proponen trabajo en tres o cuatro series de diez repeticiones con trenes de 10 s y descansos de 20 s. Dentro de los trenes, la frecuencia se adaptará en la primera serie para fibra lenta (50 Hz), en las siguientes series se aumenta la frecuencia para incluir de manera progresiva la fibra rápida y nerviosa (80 Hz).
- Asimismo, algunos métodos proponen series de trabajo intenso de fibra rápida con

Figura 12-47. Potenciación muscular del cuádriceps en un ejercicio isométrico.



trenes de unos 10 s y pausas de 10 s, pero de forma que en las pausas se mantenga cierto nivel de estimulación con una frecuencia vibratoria de 3 a 5 Hz a fin de favorecer la relajación muscular.

Cada profesional debe aplicar los parámetros que considere oportunos siempre que domine el equipo estimulador, la técnica, el estado del paciente, se haya realizado una exploración adecuada y se posea suficiente experiencia personal.

Es fundamental tener en cuenta la frecuencia de la corriente para trabajar con la precisión deseada sobre la musculatura lenta, rápida o la frecuencia adecuada en ese preciso caso y momento. Es importante acudir a lo descrito sobre la exploración en este sentido, en los capítulos 10 y 11, en que se recomienda utilizar los impulsos cuadrangulares exploratorios y, con los parámetros obtenidos, trasladarlos a las modulaciones cuadrangulares de media frecuencia o corriente de Kots.

Elongación muscular

En el capítulo 11 existe un apartado bastante extenso sobre el tema. Por consiguiente se remite al lector a su lectura; no obstante, debe recordarse en este punto que una de las técnicas se basa en conseguir fuertes contracciones musculares provocadas por electroestimulación con trenes (de corrientes que molesten poco, las de Kots, en este caso) sobre los músculos destinados a la elongación, de manera simultánea al trabajo activo frente a máxima resistencia. La resistencia aplicada puede ejercerse de forma manual o aprovechando la gravedad y el peso del propio paciente.

A los músculos que deben elongarse se les hará trabajar en alargamiento máximo, frente a resistencia máxima y en contracción isométrica concéntrica.

A continuación se presenta un ejemplo:

- Se colocarán los electrodos en la forma que se considere mejor para una respuesta lo más global y completa del grupo muscular que deba estimularse (aplicación multipolar o bipolar muy amplia).
- En la máquina se seleccionan corrientes con frecuencia adecuada para el caso (v. los caps. 10 y 11), trenes con frecuencia entre 50 y 80 Hz, de aplicación intencionada con un pulsador en la mano del paciente u otra tercera persona que ayude.
- Se regula la intensidad con una o varias aplicaciones de prueba que consigan buena respuesta sin posibilidades de daños o molestias al paciente. Se le sitúa a éste, y la zona que deba tratarse, en la posición adecuada; en este caso, se trata de los músculos estimulados para contracción en alargamiento máximo, es decir, los isquiotibiales (Fig. 12-48).
- Se le aplica la fijación manual, que se convertirá en resistencia, por parte del fisioterapeuta o del propio paciente.
- Se le da la orden de mantener la tensión y la contracción frente a la resistencia aplicada.
- Inmediatamente después del inicio de la contracción activa, se pulsa el mando para mantenerlo hasta la fatiga del paciente. Se

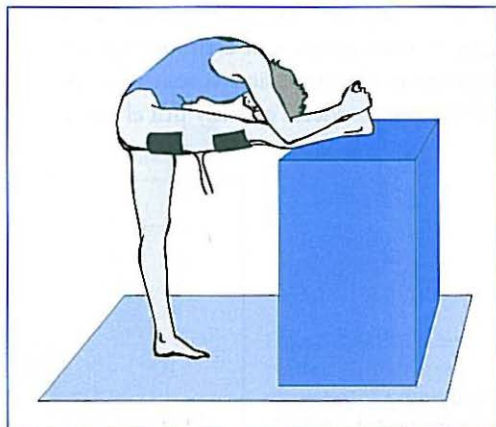


Figura 12-48. Autoelongación de músculos isquiotibiales.

mantiene la resistencia y se le insiste al paciente en que no ceda en el esfuerzo o se descoordine.

- Pasados unos 10 s de esfuerzo en contracción isométrica o fatiga del paciente, se le da la orden de retirar el estímulo eléctrico e, inmediatamente, se cede en el esfuerzo activo frente a la resistencia.
- Se permite un tiempo de descanso, dos veces superior al tiempo trabajado, para iniciar de nuevo la maniobra un mínimo de tres veces.

Se apreciarán respuestas importantes en la longitud de las estructuras elongadas, sobre todo si se hallan sometidas a procesos de fibrosis recientes con adherencias poco establecidas, para ganar importantes tramos articulares que, de otra forma, son más difíciles.

Esta técnica está indicada de forma adecuada siempre que se desee ganar amplitud articular y el freno se halle fuera de la articulación. Tal vez, dentro de la articulación, pueda conseguirse que cedan estructuras fibróticas si éstas son recientes o se están instaurando en esos momentos, pero si las fibrosis son firmes y potentes, a no ser que resulten desgarradas por aplicación de fuerzas activas o pasivas (nada recomendables) sobre la articulación, no se conseguirán resultados satisfactorios.

Por ejemplo, si se pretende elongar el cuádriceps y se tiene en mente una rodilla, puede situarse al paciente según la figura 12-49 y aplicarle el proceso anterior, tras intentar que las tensiones aplicadas en las cápsulas y aponeurosis desde las fibras musculares contraídas (y forzadas a trabajar) desbriden y liberen las distintas capas aponeuróticas entre sí y de su masa muscular.

Es habitual que después de esta técnica los pacientes manifiesten agujetas o dolores en la masa muscular en el transcurso de 2 a 3 días, seguramente por microlesiones repartidas por toda la musculatura afectada o por donde más estrés se tuvo que soportar.

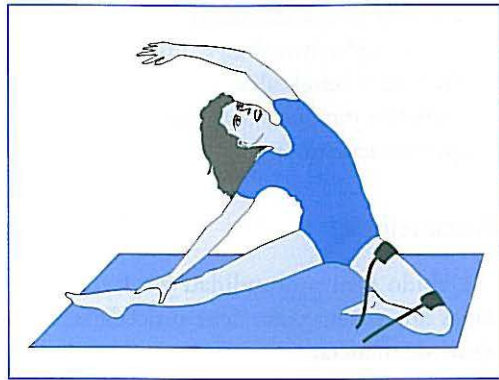


Figura 12-49. Autoelongación del cuádriceps.

Es importante prestar especial atención a las lesiones y desgarros musculares mediante el apoyo en dos pilares básicos: el hecho de que la intensidad de la corriente no se eleve de manera excesiva, pero que sea suficiente como para aumentar la contracción activa, y el control voluntario del propio paciente, de forma que le permita detener la técnica en cualquier momento.

Por ello, la aplicación intencionada y la dirección de la maniobra serán, en todo momento, condiciones indispensables para su práctica.

Indicaciones

Las técnicas que utilizan la media frecuencia están indicadas con los objetivos siguientes:

- Potenciación muscular.
- Relajación muscular.
- Elongación muscular.
- Bombeo circulatorio.
- Analgesia en dolores de origen químico.
- Analgesia en dolores de origen mecánico.
- Analgesia en dolores de origen neurálgico.
- Desbridamientos tisulares (sobre todo en los inicios de la proliferación del colágeno).
- Liberaciones articulares (en los estadios del inicio de proliferación de adherencias).
- Eliminación de derrames articulares (ni agudos ni sépticos).

- Distrofia simpático-refleja.
- Movilización intrínseca e íntima de las articulaciones vertebrales.
- Aumento y mejora del trofismo local (por aporte energético).

Precauciones

Debido a su profundidad y a las intensidades que se alcanzan, debe procederse de la siguiente manera:

- Tener precaución con osteosíntesis cercanas a la zona tratada.
- Prestar atención a la adecuada colocación de los electrodos.
- Vigilar que la sesión cumpla con los objetivos propuestos y no padezca de excesiva.
- Tener en cuenta la intensidad y la situación de los electrodos para que no actúe contra los objetivos previstos.
- Tener cuidado con las glándulas y su secreción hormonal provocada.
- Tener en cuenta las cavidades que contengan líquidos (pues se convierten en zonas de muy buena conducción y concentración de energía eléctrica).
- Tener en cuenta las cavidades que contengan aire (por su mala conducción, en las paredes límite se puede concentrar en ex-

ceso la intensidad eléctrica, como los pulmones).

- Tener precaución con ganglios nerviosos simpáticos y parasimpáticos situados a lo largo de la columna vertebral.
- Tener precaución con la influencia en los órganos excretores, intestinos, vísceras, etcétera.

Contraindicaciones

Se desaconseja su uso en los siguientes procesos o localizaciones:

- En procesos infecciosos.
- En procesos inflamatorios agudos.
- En roturas tisulares recientes si se aplican con efecto motor.
- En tromboflebitis.
- Sobre procesos tumorales.
- En zonas de osteosíntesis o endoprótesis.
- En zonas que puedan afectar el proceso de gestación.
- En implantes de marcapasos, dispositivos intrauterinos o cualquier otro dispositivo eléctrico o metálico instalado de forma intracorporal.
- No debe invadirse el corazón con el campo eléctrico.
- No debe invadirse el sistema nervioso central o los centros neurovegetativos importantes.

Material complementario en el sitio web

- Autoevaluación
- Vídeos:
 - 12-1. Desfase entre ondas
 - 12-2. Portadora 4000 Hz
 - 12-3. Portadora modulada
 - 12-4. Pantalla interferencias tetrapolares
 - 12-5. Pantalla AMF bipolar
 - 12-6. Modulaciones de bipolares
 - 12-7. Imperfecciones de media frecuencia
 - 12-8. Vector isoplanar
 - 12-9. Vector rotatorio 1
 - 12-10. Vector rotatorio 2
 - 12-11. Contornos MdF
 - 12-12. Ratio pulso-reposo en Kots
 - 12-13. Vibraciones y trenes cortos
 - 12-14. Bursitis con guantes eléctricos



13

Alta frecuencia o «termoterapia profunda»

Contenido

- Análisis y clasificación de la alta frecuencia
- Tipos de radiofrecuencia usados en termoelectroterapia
- Efecto diatermia
- Dosificación, indicaciones, precauciones y contraindicaciones
- Detalle de la onda corta y de la microonda

Objetivos de aprendizaje

- Comprender el concepto de efecto de diatermia.
- Conocer la clasificación de la radiofrecuencia terapéutica.
- Calcular sus frecuencias o sus longitudes de onda.
- Dominar el concepto de dosificación.
- Asimilar la respuesta de termorregulación del organismo frente a la termoterapia.
- Dominar las indicaciones, las precauciones y las contraindicaciones de la radiofrecuencia.
- Conocer los sistemas de aplicación de la onda corta y de la microonda

Síntesis conceptual

- ✓ Este capítulo trata de la diatermia que genera la radiofrecuencia dentro de los tejidos vivos. Este calor generado por conversión de una energía en otra se consigue en el interior tisular y por ello se considera termoterapia profunda.
- ✓ Se describen la clasificación, los modos de aplicación, la dosificación, así como las indicaciones, precauciones y contraindicaciones de la termoterapia profunda.
- ✓ Se plantean los efectos de termorregulación y se diferencia el concepto de calor del concepto de temperatura.
- ✓ En la parte final del capítulo hay un par de apartados que se dedican a la onda corta y a la microonda, respectivamente, para profundizar en su uso, manejo y modos de aplicación. Asimismo, se efectúa una somera introducción sobre la polémica en cuanto a posibles influencias de la radiofrecuencia en el personal sanitario.

INTRODUCCIÓN

Hasta este capítulo, la obra se ha centrado en la aplicación de «corrientes» que generaban estímulos nerviosos sensitivos, estímulos nerviosos y musculares con respuesta motora y aporte energético moderado que influye en el trofismo y metabolismo (excepto la corriente galvánica, cuyo aporte energético no es tan moderado). A partir de este capítulo, el suministro energético es fundamental e importante, y busca objetivos de estímulo metabólico de forma fundamental.

Podrán parecer repetitivos los conceptos, las respuestas fisiológicas y los efectos orgánicos en los siguientes capítulos por su semejanza. Pues en realidad es así, ya que, aunque se pretendan marcar diferencias entre las distintas técnicas de aporte energético, el sistema de actuación es muy similar: «inyectar al organismo energía para acelerar sus respuestas metabólicas a distintos niveles». Las diferencias entre dichas técnicas están marcadas por la potencia aplicada, por el hecho de que exista transformación energética o no, y por la facilidad para que las absorba el organismo.

Cuando se hace referencia a «alta frecuencia», se está entrando en el concepto de *diatermia* o terapia por aplicación de energía electromagnética en una banda del espectro electromagnético que, al introducirla en el organismo, se transformará en energía electromagnética de otra banda distinta y más alta del espectro, la del calor, es decir, los infrarrojos.

La alta frecuencia que se aplica está formada por corrientes alternas desde alrededor de 0,5 hasta 2.450 MHz (megahercios).

Como se muestra en la [figura 13-1](#), se usa:

- de forma continuada (continuo) y
- con interrupciones (pulsado o pulsátil).

Las ondas electromagnéticas en el espectro de alta frecuencia se emplean en electroterapia

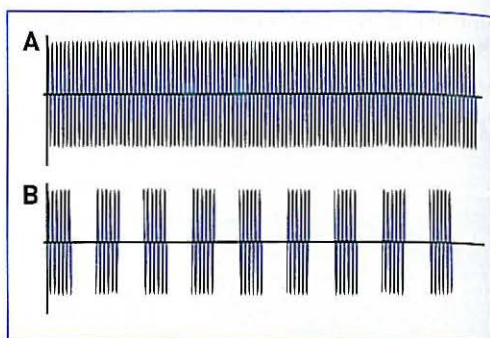


Figura 13-1. A) Modo continuo de alta frecuencia, con una portadora sin modular. B) Modo pulsado. Si se observa, cada modulación o pulso contiene en su interior la frecuencia de la portadora.

porque, al invadir los tejidos, generan calor a causa de la ley de Joule. Por lo tanto, cuando una corriente eléctrica circula por un conductor, en éste se puede generar calor como nueva energía según la siguiente fórmula:

$$\text{Caloría} = Z \cdot I^2 \cdot t \cdot 0,24$$

Las calorías (cal) generadas dependen de Z o impedancia (resistencia óhmica más capacitativa) de la materia por la intensidad de la corriente al cuadrado (I^2) y por el tiempo en segundos (t), todo ello convertido a calorías si se multiplica por 0,24.

Esta fórmula no es otra que la tan consabida ley de Joule para el trabajo, en que trabajo se representa en $J = \text{potencia (W)} \cdot \text{tiempo (t)}$, donde $(Z \cdot I^2 \cdot t) = J$ y $\text{Cal} = J \cdot 0,24$ ([Fig. 13-2](#)).

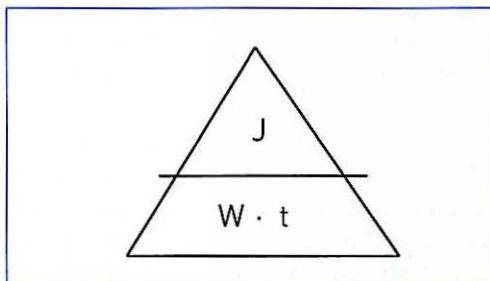


Figura 13-2. Fórmula de la ley de Joule. J: julios; t: tiempo; W: potencia.

Cuando se aplica alta frecuencia a la materia, dependiendo de las condiciones y las características de la energía, la forma de aplicarla, las condiciones electrofísicas del medio que la soporta, etc., ésta se transforma en otras manifestaciones energéticas, como fuerza magnética y fuerza electromotriz, que actuarán sobre los iones o las moléculas de las disoluciones y dispersiones coloidales que contiene el organismo vivo, o simplemente aparecerán cambios en la longitud de onda y la frecuencia de las ondas aplicadas.

Esta forma de generar calor dentro del organismo lleva a denominar esta técnica con el sobrenombre de termoterapia profunda, pues la energía térmica producida aparece en los tejidos por transformación de una banda electromagnética (no térmica) en otra banda del espectro (térmica). La nueva energía siempre será térmica, pues no debe confundirse la realidad del fenómeno electrofísico con la apreciación subjetiva del paciente. Si la cantidad de calorías generadas en los tejidos vivos no consigue estimular o romper el umbral detector de los termorreceptores, el paciente no sentirá calor aunque ello no signifique que no se esté generando; será un nivel infraliminal.

A la hora de aplicar esta técnica al organismo, se usan tres métodos fundamentales:

- campo de condensador,
- campo de inducción y
- campo de irradiación.

Campo de condensador (Fig. 13-3). Consiste en colocar dos placas metálicas cargadas eléctricamente una frente a la otra, con una distancia entre ambas, de forma que cuando una es [+], la opuesta es [-]. Esto provoca una diferencia de potencial entre ambas (electrodos) que generará fuerza electromotriz en el espacio que las separa. Si entre las placas se intercala un miembro del organismo, éste estará sometido a la fuerza electromotriz existente y las cargas iónicas de las disoluciones orgánicas

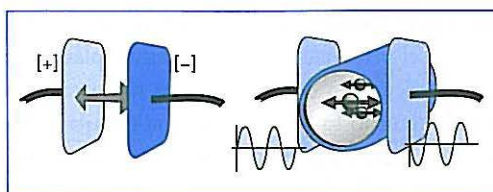


Figura 13-3. Las placas de un condensador aplicadas sobre segmentos corporales logran que las cargas iónicas del organismo estén sometidas a oscilaciones con la misma frecuencia que la corriente.

se desplazarán, acercándose o alejándose de los electrodos.

Dado que la polaridad [+] de una placa y la polaridad [-] de la otra se alternan o se invierten millones de veces por segundo, también se provocará un «vaivén» en los iones orgánicos de millones de veces por segundo.



Vídeo 13-1. Campo de condensador

Campo de inducción (Fig. 13-4). Procede de la inducción electromagnética que aparece en las bobinas cuando por éstas circula la corriente eléctrica. Si en el interior de la bobina se halla uno de nuestros miembros, dicha fuerza magnética provocará movimiento a las cargas iónicas contenidas en los tejidos.

Debe prestarse atención al establecer la diferencia existente entre el campo de condensador y el campo de inducción, pues mientras que en el campo de condensador los tejidos reciben fuerza electromotriz, en el campo de inducción

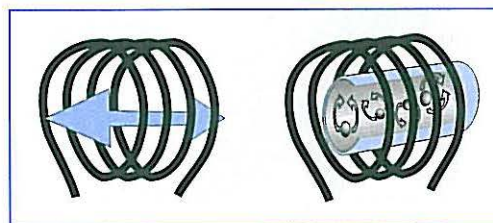


Figura 13-4. Un cable embobinado sobre un segmento corporal provoca agitación iónica dentro del organismo.

recibirán fuerza magnética, lo que provocará que en el primer caso los iones se desplacen de forma rectilínea entre las placas mientras que en el segundo lo hacen de forma circular y en sentido perpendicular al vector de la fuerza magnética. Dado que se trabaja con corrientes alternas, tanto el «vaivén» del campo de condensador como los giros o turbulencias magnéticas del campo inductivo lo serán en ambos sentidos y con la frecuencia de oscilación, lo que se conoce como «baile iónico», correspondiente a la frecuencia de la corriente.

Sin embargo, si en vez de enrollar una bobina sobre el segmento corporal, se aplican dos bobinas planas contralaterales de forma que las caras enfrentadas sean de polaridad magnética opuesta (norte-sur), en lugar de provocar desplazamientos giratorios de los iones, éstos serán de forma perpendicular al sentido de la fuerza magnética. Por ejemplo, se desplazarán en sentido longitudinal al segmento tratado (Fig. 13-5).

Campo de irradiación (Fig. 13-6). Se basa en emitir o irradiar ondas electromagnéticas desde una antena hasta que alcanzan al organismo, lo invaden y penetran para generar turbulencias electromagnéticas en los iones de las disoluciones orgánicas.

Las ondas electromagnéticas, como su nombre indica, se componen de dos campos de fuerza: el eléctrico o fuerza electromotriz y el magnético o fuerza magnética. Ambos se manifiestan en sentido perpendicular uno con

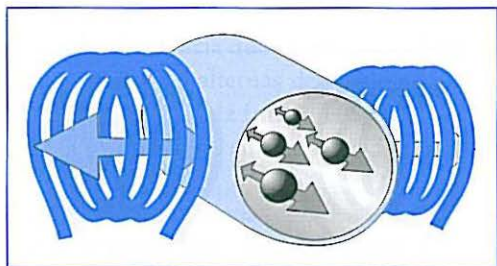


Figura 13-5. El campo de turbulencia electromagnética genera agitación iónica en sentido perpendicular a las líneas del campo de las bobinas.

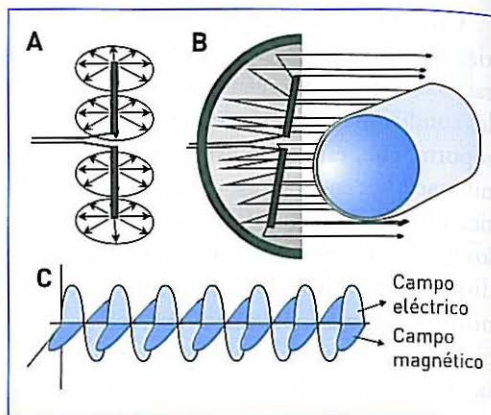


Figura 13-6. A) Esquema de una antena de tipo dipolo, la forma en que se encuentran dentro de los electrodos de irradiación. B) Esquema de la antena dentro de la carcasa mientras emite de forma focalizada por la pantalla reflectora. C) Ondas del campo electromagnético, representadas en dos planos perpendiculares, su parte eléctrica y su parte magnética.

relación al otro, según aparece representado en la figura 13-6 C.

Las ondas electromagnéticas avanzan en línea recta por el vacío o son conducidas por la materia si ésta es buena conductora (Fig. 13-7).

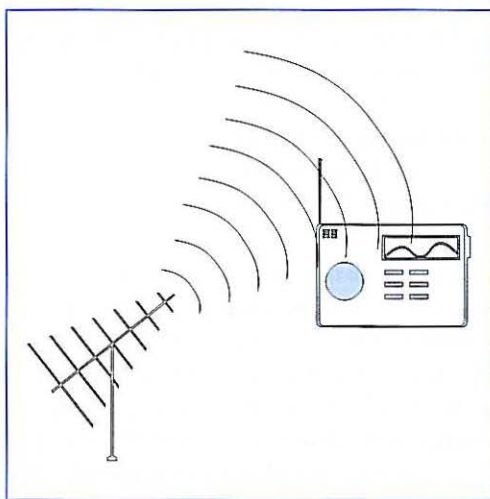


Figura 13-7. Ondas electromagnéticas que avanzan por el espacio para ser captadas y absorbidas por una antena, la cual redirige esa energía a su procesamiento en el interior del receptor.

Dado que el organismo humano es un conductor bastante bueno, cuando se halla recibiendo ondas electromagnéticas, primero las absorbe, después las reconduce y las concentra en los tejidos con mayor carga iónica. Allí serán transformadas en energía cinética para la agitación iónica o molecular, la cual, a su vez, irradiará calor.

Las ondas se reconducen o se desvían por las zonas de menor resistencia, pero, si se requiere superar otras de mayor resistencia para alcanzarlas, la energía aplicada habrá sufrido cierta pérdida en su potencia, con lo cual las que consigan acceder a las zonas de mejor conducción no generarán el mismo rendimiento que si no hubieran superado tejidos difíciles. Esta circunstancia ocurre, sobre todo, en las aplicaciones por irradiación (v. «Efecto serie» y «Efecto paralelo», más adelante).

Un buen conductor las absorbe, las reconduce y las deriva a objetos o elementos que se hallen en contacto con él, como una antena de radio que esté captando ondas y entregándoselas al circuito electrónico (Fig. 13-7). Sin embargo, si el conductor no puede derivar esa energía, la absorberá de forma tal que, si es en gran cantidad, su estructura molecular estará sometida a agitación hasta calentarse en mayor o menor grado.

Esto último puede compararse con lo ocurrido en el filamento de una lámpara de incandescencia cuando se hace pasar electricidad a través de ella. Debido a su pequeño calibre y a determinada dificultad en el desplazamiento de los electrones, éstos se agitan de tal forma que irradian ondas electromagnéticas en el espectro de la luz. Si se disminuyera la cantidad de energía eléctrica o se aumentase el calibre del filamento, la agitación molecular sería menor y la irradiación de ondas electromagnéticas se emitiría en otra banda más baja, quizá en el rojo o en los infrarrojos o, incluso, podría no generar calentamiento alguno. Cualquiera puede observar con facilidad lo descrito con un simple

regulador de luminosidad de los utilizados en general en las viviendas.

DENSIDAD DE ENERGÍA ELECTROMAGNÉTICA

La energía electromagnética propagada en alta frecuencia obedece a las mismas leyes que las ondas irradiadas en la banda de la luz. Por lo tanto, pueden asemejarse a muchos de sus comportamientos (no todos). Las ondas de alta frecuencia se pueden irradiar en todas las direcciones o focalizarse, y avanzan a la misma velocidad de propagación que la luz y, además, debe medirse la energía que se recibe en las superficies (Fig. 13-8).

Si se toma como referencia la energía recibida en 1 s (potencia en vatios) y la superficie de exposición, las circunstancias que condicionan la velocidad de absorción y la cantidad absorbida por unidad de superficie conducirán a establecer los vatios por metro cuadrado (W/m^2).

A modo de ejemplo puede observarse la figura 13-9, donde se representan dos aplicaciones distintas de onda corta en campo

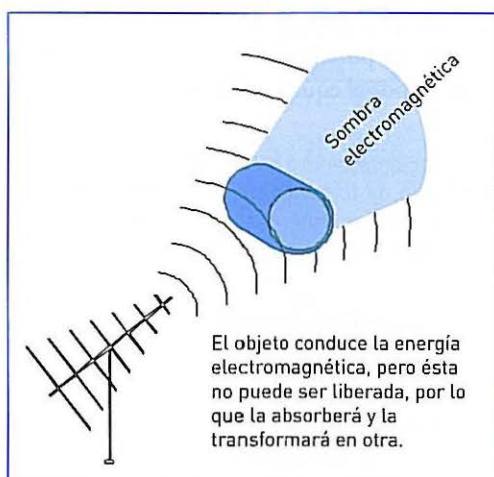


Figura 13-8. La energía electromagnética es absorbida por los tejidos vivos y se transforma en otra, como en calor. Al otro lado queda una zona de sombra electromagnética.

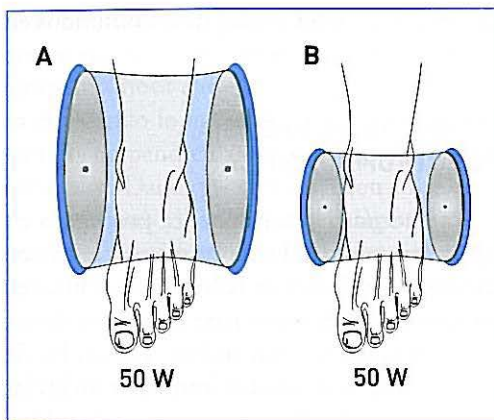


Figura 13-9. A) Una zona amplia conduce 50 W. B) Una zona más pequeña conduce 50 W. Lógicamente, en B la concentración energética será mayor y el paciente manifestará más calor.

de condensador, por las que pasan 50 W de potencia, pero con electrodos de distinto tamaño. Es lógico pensar que, en la situación de electrodos pequeños, los tejidos corporales deberán soportar mucha más energía en menor cantidad de tejidos mientras que en la de electrodos grandes se dispone de mayor porción corporal para absorber 50 W.

Lo realmente trascendente es la potencia recibida por unidad de volumen tisular que la recibida por unidad de superficie y que la emitida por el equipo irradiador.

El paciente sentirá más o menos calor dependiendo de la concentración de energía por unidad de volumen tisular (siempre que sea en tejidos blandos y bien hidratados).

En la cantidad de energía recibida influyen tres factores básicos (Fig. 13-10):

- potencia aplicada,
- tamaño de los electrodos y
- distancia entre electrodos y tejidos.

Si se analiza la figura 13-10, puede observarse lo siguiente:

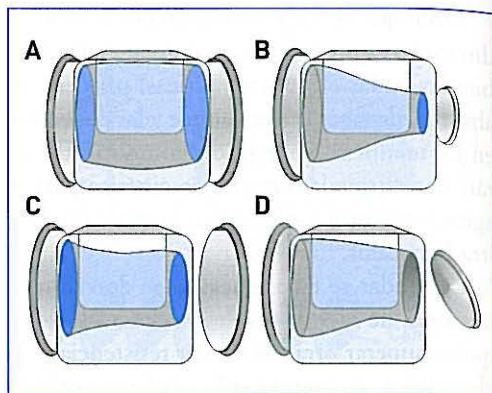


Figura 13-10. A) Electrodos grandes, campo amplio y calor difuso. B) Electrodos grande y pequeño y campo que se concentra cerca del pequeño. Calor importante cerca del pequeño. C) Electrodos grandes, pero uno separado, el campo se concentra en las proximidades del cercano. Calor difuso. D) Un electrodo grande y otro mediano, pero no paralelo. El campo se estrecha en la zona del mediano. El calor se concentra cerca de la zona más próxima al electrodo mediano.

- En A, dos electrodos grandes se aplican sobre una zona corporal más grande que los electrodos y ambos permanecen cercanos. Provocan un campo de influencia amplio y el calor está muy repartido por toda la zona. Requiere valores altos de potencia.
- En B se observan un electrodo grande y otro pequeño sobre una zona corporal más amplia que los electrodos. Ello genera un campo alargado, que se estrecha cerca del pequeño. El calor se siente cerca del pequeño. No se requieren potencias altas para evitar quemaduras en la zona del pequeño.
- En C es parecido a A, pero uno de los dos está más separado que el otro. Esto provoca un campo de influencia desplazado hacia el más cercano y el calor se concentrará en la zona del cercano, pero disperso. Se requiere mucha potencia.
- En D, uno es más pequeño que el otro, pero no tanto como en B, por lo que el campo de influencia se estrecha hacia el pequeño. Sin embargo, en este caso, el pequeño está

inclinado y un borde está muy cerca, lo que provoca que se convierta en más pequeño de lo que es y concentre mucho el calor en un punto concreto. Requiere una potencia bien controlada. Esta situación puede presentarse en aplicaciones poco cuidadosas.

No obstante, es muy difícil controlar de forma matemática la potencia o el trabajo generado en el interior corporal; por ello, en termoterapia de alta frecuencia se usará el sistema de dosificación que más adelante se describe.

CLASIFICACIÓN DE LA ALTA FRECUENCIA

En la tabla 13-1 pueden apreciarse dos aspectos que llaman la atención:

- Se están indicando puntos concretos en las distintas bandas.
- Si se presta atención a las cifras de frecuencias y longitudes de onda, podrá observarse que son valores inversos.

El primer punto está determinado por acuerdos internacionales, según los cuales, para esta técnica, sólo están autorizados a fabricar y usar los referidos puntos de las dis-

Tabla 13-1. Frecuencias y longitudes de ondas (λ) de las diferentes técnicas de radiofrecuencia

Nombre	MHz	λ en m	Banda
D'Arsonval	1	300	Hectométrica
Diatermia	10	30	Decamétrica
Onda corta	27	11	Métrica
Onda corta	40	7,5	Métrica
Ultracorta	432	0,69	Decimétrica
Microonda	900	0,33	Decimétrica
Microonda	2.450	0,122	Centimétrica

tintas bandas a fin de evitar interferencias en radiodifusión u otros sectores industriales.

El segundo punto se refiere al hecho de que puede utilizarse una doble nomenclatura para indicar el punto de la banda: bien en frecuencia (número de oscilaciones en 1 s) o en longitud de onda (distancia reflejada en unidad de longitud que existe desde que comienza un ciclo hasta que termina); ambos parámetros son inversos entre sí (Fig. 13-11).

Las diferentes frecuencias y longitudes de onda generan distintos fenómenos electrofísicos y electroquímicos, pues mientras las frecuencias más bajas (onda corta) provocan desplazamientos de las cargas iónicas y masas eléctricas propias del organismo, éstas, al desplazarse, se encontrarán con resistencia al movimiento y su correspondiente transformación en otra energía. Además, las frecuencias más altas (microonda) no son capaces de conseguir el desplazamiento de las cargas iónicas propias de los tejidos, pero agitan, rotan y excitan a las moléculas ionizadas o iones, los cuales irradiarán ondas electromag-

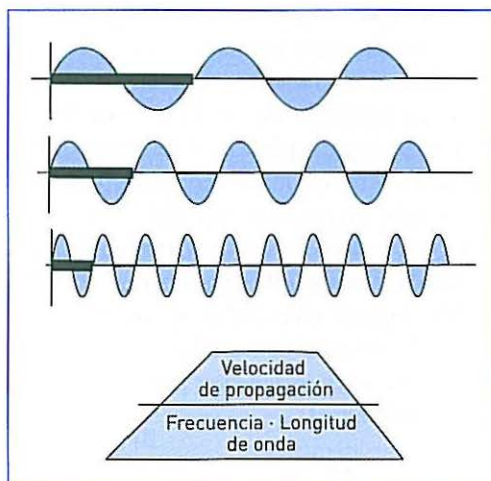


Figura 13-11. El vector que une el inicio de dos ondas completas representa la longitud de onda. Cuantas más ondas están contenidas en la unidad de tiempo, menor es la longitud de onda. En la parte inferior, fórmula para calcular la longitud de onda, la frecuencia (F) y la constante de velocidad de propagación.



Práctica 13-1

1. ¿Cuál es la longitud de onda en la microonda de 900 MHz?

Hay que cuidar de forma especial no operar con valores en unidades distintas, pues no pueden mezclarse m/s y MHz o MHz con km/s.

2. ¿Cuál es la frecuencia correspondiente a la longitud de onda de 12,25 cm?
3. ¿Cuál es la longitud de onda de 30.000 Hz?

néticas en la banda de los infrarrojos. Cuanto más excitadas estén las estructuras moleculares, mayor cantidad de infrarrojos se generará (v. «Espectro electromagnético», en el cap. 1).

Si se calcula el producto entre los dos valores (la frecuencia en Hz y la longitud de onda $[\lambda]$ en m), se conseguirá la velocidad de propagación de las ondas electromagnéticas. Dado que la velocidad de propagación es una constante, los otros dos valores serán variables e inversos entre sí.

Se está acostumbrado a considerar que la velocidad de propagación de la luz es de 300.000 km/s (300.000.000 m/s) aunque la constante para trabajar con la debida precisión es de 299.792.458 m/s. Dado que la frecuencia se convertirá en longitud de onda o viceversa, sólo para conocer bien la herramienta que se utiliza, habrá que emplear en los cálculos la constante de velocidad de propagación de las ondas electromagnéticas por aproximación (300.000.000 m/s).

ANÁLISIS Y CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS USADOS

D'Arsonval

Se trata de las corrientes iniciales en la generación de calor tisular. Debido a la poca evolución

técnica y experimental, tuvieron que desecharse por sus dificultades a la hora de aplicarlas, pues generaban pequeños arcos voltaicos y cierto nivel de agresión en la piel por quemaduras moderadas.



Video 13-2. Darsonvalización

En la actualidad se están recuperando por la utilización del aparato denominado regenerador funcional (o técnica de transferencia eléctrica capacitativa), perfeccionado y evolucionado, por lo que ofrece buenos resultados como aplicador local bajo la zona de barrido manual que abarca el electrodo activo, zona elegida para tratar. La vía de mayor utilización del «regenerador funcional» en el campo sanitario se produce en la estética. Sin embargo, es una herramienta potente en fisioterapia (Fig. 13-12).

Las características más señaladas del sistema de D'Arsonval eran las siguientes:

- La frecuencia de utilización se hallaba entre los 500 kHz (500.000 Hz) y 1 MHz (1.000.000 Hz).

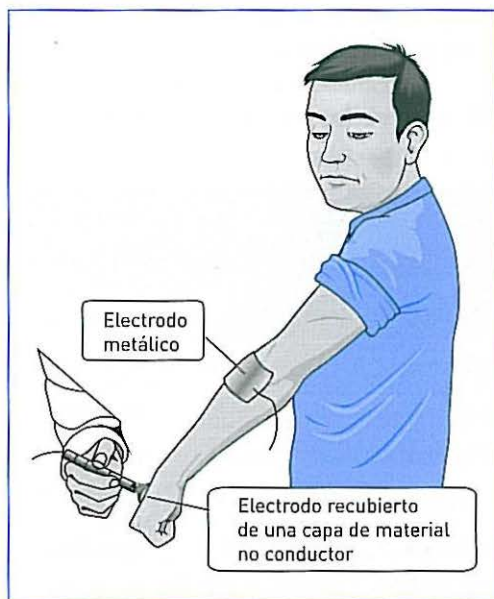


Figura 13-12. Aplicación de la transferencia eléctrica capacitativa.

- Había poca impedancia de los tejidos (con relación a frecuencias más bajas).
- Se usaba con dos electrodos: uno metálico y amplio, a modo de electrodo masa, asido con una mano, mientras que el activo (bastante más pequeño) era redondeado y de metal, y estaba aislado de la piel por una cubierta de material aislante.
- Producía chisporroteo entre la piel y el electrodo si el aislante permitía zonas de menor resistencia.
- Había un importante riesgo de quemaduras en la piel.
- Se generaba calor muy local y superficial bajo el electrodo aplicador.
- El calor se generaba por los desplazamientos de las cargas eléctricas dentro de los tejidos.

En la actualidad se ha conseguido eliminar muchos de los problemas que se presentaron en el pasado por la suficiente depuración del sistema. Por ello se ha convertido en una técnica muy interesante para su uso en fisioterapia.

Tecarterapia

Una variante de la modalidad anterior (mejor una actualización) es la denominada tecarterapia, diatermia, radiofrecuencia, etc. Nombres con mucha carga de *marketing*, principalmente dirigidos a fisioestética, protocolos de tratamientos fisioterápicos modernizados y aparatos desarrollados con electrónica moderna que aportan buen control y seguridad para el paciente y el terapeuta.

Básicamente se aplican con dos metodologías fundamentales:

- campo capacitivo y
- campo resistivo.

En el campo capacitivo, el electrodo activo posee un recubrimiento aislante entre el electrodo y el paciente, provocando que el efecto térmico se concentre bajo el electrodo activo.

En el campo resistivo ambos electrodos son metálicos y ello genera el calor alejado de los electrodos y en más profundidad.

Una propuesta, con importante predicamento, consiste en aplicar la termoterapia (con electrodos fijos o de forma manual) simultáneamente a una sucesión de tratamientos manuales que pueden durar entre 30 y 90 minutos, pretendiendo crear una nueva técnica denominada “kinesiodiater”.

Estas aportaciones de nuevos protocolos, en muchos se aportan sugerencias terapéuticas válidas y eficaces, pero con métodos muy empíricos y experimentales, sin precisar dosis y potencias (que no intensidad y voltaje).

Diatermia

Las características de este sistema son las siguientes:

- La frecuencia de utilización se estableció en 10 MHz.
- Se aplicaba con electrodos metálicos sobre la piel, separados por una gamuza seca (Fig. 13-13).
- Peligro de chisporroteo y arcos voltaicos entre la piel y el electrodo.
- El calor es generado por los desplazamientos de cargas eléctricas dentro de los tejidos.
- Predomina el efecto capacitativo.
- El paciente debe estar aislado de tierra o de otros posibles objetos conductores (no debe tocarse al paciente).
- El calor generado cubre una zona más profunda y amplia que en la técnica de D’Arsonval.

Onda corta

Las características de este sistema son las siguientes:

- La frecuencia de utilización es de 27 MHz.
- Su efecto electrofísico fundamental se basa en la capacitancia o efecto de condensador.

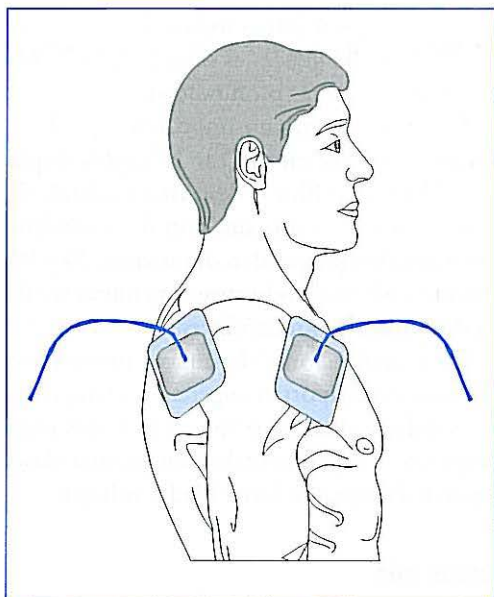


Figura 13-13. Dos placas separadas de la piel por aislantes provocan en los tejidos orgánicos un desplazamiento sobre los iones por su carga eléctrica. La oscilación repetida de iones unos 10.000.000 de veces genera calor.

- Se aplica con placas o bobinas separadas de la piel (Fig. 13-14).
- El calor se genera por desplazamiento de cargas eléctricas.
- Se genera más calor en los tejidos de mayor conductividad.

Ultracorta

Las características de este sistema son las siguientes:

- La frecuencia de utilización es de 432 MHz.
- Se aplica con irradiador o antenas direccionadas (Fig. 13-15).
- El aplicador se mantiene separado de la piel unos centímetros.
- No se basa en el efecto capacitativo ni inductivo, sino en el campo de irradiación.
- Se emplea un único electrodo.
- La energía electromagnética penetra en los

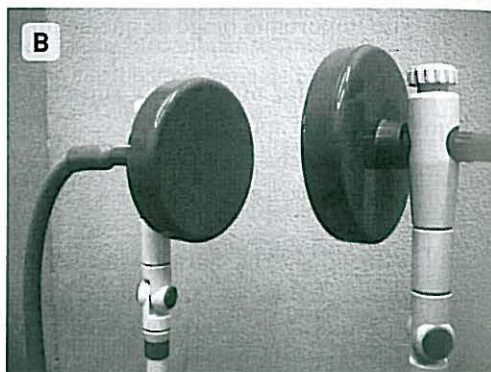
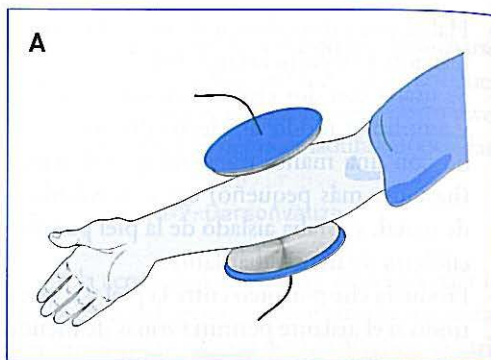


Figura 13-14. A) Dos placas separadas de la piel por el aire provocan en los tejidos orgánicos un desplazamiento sobre los iones por su carga eléctrica. La oscilación repetida de iones unos 27.000.000 de veces genera calor. B) Dos electrodos o cabezales de condensador de una onda corta.

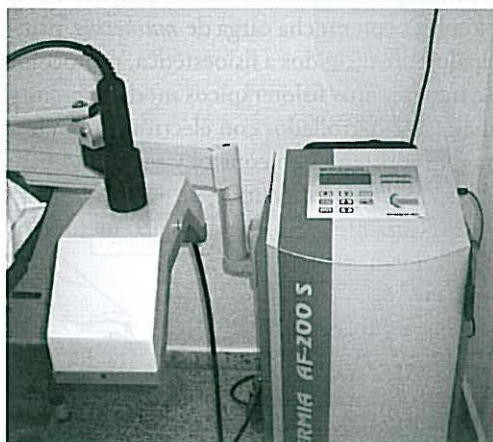


Figura 13-15. Equipo de ultracorta con electrodo irradiador y mando de detención de la sesión ante la emergencia por molestias en el paciente.

tejidos profundos a través de la piel y el tejido celular subcutáneo.

- Va desapareciendo el peligro de derivaciones eléctricas del paciente hacia tierra.
- El calor se genera por la vibración molecular en lugar de generarse por el desplazamiento de cargas eléctricas internas del organismo.

Microonda

Las características de este sistema son las siguientes:

- Recibe también el sobrenombre de radar-terapia por coincidir con la misma banda de frecuencia que el radar convencional (2.450 MHz).
- Se aplica con un electrodo antena muy direccional (Fig. 13-16).
- Estas ondas electromagnéticas presentan fuertes efectos de reflexión y de refracción.
- Penetra en los tejidos profundos a través de la piel y el tejido celular subcutáneo.
- La energía calórica generada se consigue por el fenómeno de giro molecular, y toma como referencia la molécula de agua.

Diapulse o alta frecuencia pulsada

En su momento se diseñaron unos equipos con electrodos característicos y destinados a

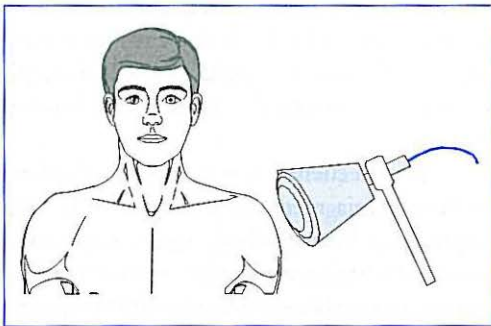


Figura 13-16. Electrodo típico de la microonda dirigido hacia el organismo a modo de foco.

evitar la generación de calor en los tejidos o, como máximo, a producir calor por debajo de la percepción térmica de los termorreceptores. Para ello, la tecnología se basó en aplicar pulsos separados por reposos hasta bajar la potencia eficaz aplicada por debajo de los límites considerados térmicos salvo que dicha potencia se suministrase a través de electrodos muy pequeños. Este recurso tecnológico se apoya en la siguiente fórmula:

$$W_{ef} = W_p \cdot t_{imp} \cdot F_{Hz}$$

Sus características son:

- Onda corta, microonda y otras en forma pulsátil (interrupciones en la aplicación continuada).
- Los pulsos generan su propia frecuencia y suelen abarcar una banda entre 20 y 1.000 Hz.
- No genera calor a niveles supraliminales.
- El paciente no siente nada (quizás, al final de la sesión se inicia cierta percepción térmica).
- Se aplica mediante campo de turbulencia electromagnética generado por una bobina (Fig. 13-17 B).
- El electrodo contiene en su interior un circuito resonante formado por una bobina y su condensador variable. El circuito necesita sintonización en el mismo electrodo mediante el giro del condensador, sintonía indicada por la luminosidad de una lamparita destinada a controlar el mejor rendimiento del electrodo (Fig. 13-17).

ELECTROPORACIÓN

Desde la década de los sesenta del siglo pasado, cuando se descubrió el efecto de electroporación *in vitro*, se han desarrollado diversos sistemas para aplicarlos al organismo. Electroporación significa apertura de poros en las membranas celulares que permiten el paso

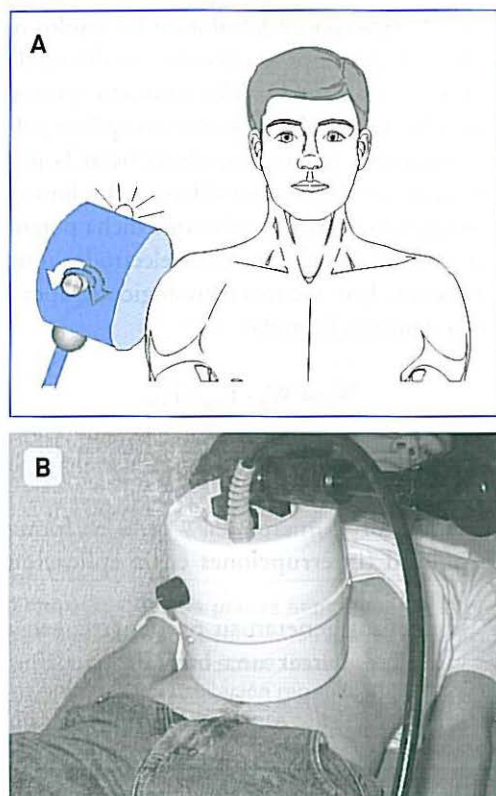


Figura 13-17. A) Electrodo de turbulencia electro-magnética aplicado sobre el hombro. B) Diapulse sobre plexo solar.

de sustancias antes bloqueadas por la impermeabilidad de la membrana. Con el *diapulse* o radiofrecuencia pulsada se consideró que las células y los tejidos se revitalizaban por este efecto y se generó un discurso que atribuía al *diapulse* efectos muy llamativos. Sin embargo, esta técnica no es tan simple, ya que requiere parámetros muy concretos para cada célula y para cada sustancia que se pretende introducir a través de los poros que se abren en las células.

La electroporación de laboratorio que se aplica a nivel celular se realiza con pulsos de baja frecuencia, cuadrados, en los que se regulan los voltios entre valores que oscilan entre 100 y 1.000 V, anchura de pulso de unos 100 μ s y frecuencias muy bajas (alrededor de 1 Hz). Estos pulsos son monofásicos y tienen

polaridad con su electrodo cátodo [-] y su ánodo [+].

Para profundizar en este tema, se recomienda la lectura de la tesis doctoral de Pablo Guillermo Turjanski, *Electroterapia y electroporación en el tratamiento de tumores: modelos teóricos y experimentales*, de 2011.

En estética se aplica electroporación para influir en la porosidad de la piel e introducir compuestos medicamentosos de forma acelerada en el medio orgánico a semejanza de la iontoforesis.

Los equipos que realizan esta función emplean varios sistemas:

- Unos equipos emplean electrodos con su correspondiente paso eléctrico a través del organismo: con pulsos de alto voltaje, de muy corta duración y frecuencias que oscilan entre 500 y 2.000 Hz para evitar el efecto sensitivo,
- Otros equipos utilizan un cabezal que no aplica electrodos a la piel del paciente con pulsos o modulaciones de radiofrecuencia sin polaridad por efecto capacitivo.
- Un tercer grupo emplea esta función con un cabezal que contiene bobinas en su interior para generar un campo magnético pulsado y alternado que produce un fuerte cambio de gradiente eléctrico en el medio orgánico.

Los parámetros y las características de estos tres sistemas son confusos (entre otras razones, porque no se aportan) o los que se aportan son insuficientes y no están bien definidos porque se hace referencia a intensidad y se la denomina voltaje, se confunde potencia con intensidad, etcétera.

La alta frecuencia que se pretende aplicar en fisioterapia mediante este punto de vista requiere ser investigada de nuevo y, por ello, deben establecerse posibles efectos reales y ciertos, ya que la experiencia confirma que no existen o si se produjeron fueron producto de la casualidad.

CALOR Y TEMPERATURA

Calor. Es la energía generada en la materia o aplicada a dicha materia, la cual produce cambios de tipo físico, mecánico y electroquímico en ésta:

- Físicos: cambios de estado sólido a líquido o a gaseoso.
- Mecánicos: cambios de menor a mayor volumen.
- Electroquímicos: acelera cambios químicos o genera nuevas sustancias.

Esta energía, por lo general, procede del aumento en la agitación y movilidad de iones, átomos y moléculas. La unidad es la caloría (cal).

Temperatura. Es una forma de cuantificar o de poseer una apreciación objetiva de la existencia de calor en los cuerpos, es decir:

- Es la cantidad de calor acumulado por unidad de volumen (densidad de calorías).
- Es la forma comparativa de medir la cantidad de calor en los cuerpos, expresada en grados centígrados (°C) y ésta es, precisamente, la modalidad habitual en el entorno de la fisioterapia.

El calor se transmite por diversos mecanismos que se describen a continuación.

Por conducción. Los objetos en contacto directo permiten el trasvase de calorías de aquel que más posee al que menos posee, por la tendencia al equilibrio de todas las energías.

Por convección. La energía calórica se traslada de un objeto a otro a través de un fluido intermedio: aire, otros gases o líquidos. El fluido sirve de transmisor entre un objeto primario que le cede calor y otro objeto secundario a quien el fluido, a su vez, se lo traspa (en realidad implica una doble transmisión por conducción).

Por radiación o irradiación. El calor se transmite y se comunica de un objeto a otro mediante radiaciones electromagnéticas por el vacío o a través de la atmósfera en la banda de infrarrojos. Ejemplos claros son los rayos del sol recibidos de forma directa o el calor de una estufa cuando se siente sobre la piel por la cercanía de ésta.

Por conversión. El calor se transmite cuando se aplica una energía y ésta o parte de ella se transforma en calor en el interior de la propia materia.

La aplicación de alta frecuencia no transmite calor del aparato al paciente sino que se genera en los propios tejidos (*por conversión*) cuando las fuerzas electromagnéticas los invaden, de forma preferente en los tejidos profundos. Por ello, esta técnica recibe el sobrenombre de termoterapia profunda.

La aplicación de infrarrojos transmite calor del aparato al paciente, recibido en la piel (por irradiación) con cierto poder de penetración, de algunos milímetros. Por ello recibe el calificativo de termoterapia superficial aunque puede alcanzar cierta profundidad por la transmisión sucesiva entre capas de tejido, desde la piel hacia capas más profundas.

DOSIS DE ALTA FRECUENCIA

Aunque con anterioridad se ha descrito que la forma de averiguar la energía recibida por un paciente depende de la zona expuesta, de la potencia aplicada, del tamaño de los electrodos, de la distancia de éstos, de la conductividad de los tejidos, etc., en la práctica es muy complejo determinar la energía electromagnética necesaria para transformarla precisamente en las calorías que se desean.

¿Cuántas calorías (o julios/cm²) se requieren para estimular un sistema biológico afectado por un proceso patológico? ¿Cuánta energía es necesaria para dañar el sistema biológico

por saturación? ¿Cuánta energía es insuficiente para no provocar las respuestas terapéuticas? Resulta muy complejo realizar cálculos matemáticos con estas técnicas por las causas y variables tan complejas que se han mencionado en el párrafo anterior.

Sin embargo, se cuenta con la ventaja de que estas técnicas no tienen por qué someterse a cálculos teóricos, ya que se parte de una referencia objetiva, de un *feed-back*, es decir, las técnicas se pueden aplicar según la respuesta observada (algo semejante a cuando se busca respuestas motoras). La referencia objetiva se encuentra en la percepción sensorial térmica del paciente y la información que éste aporta durante la sesión.

Resulta entonces, que la dosis aplicada para transformar alta frecuencia en calor dependerá de la información subjetiva (objetiva desde el punto de vista del terapeuta) que el paciente aporte, según como lo perciba en sus termorreceptores. Dichas dosis se clasificarán según los siguientes grados:

- Grado I: calor subliminal (imperceptible). El paciente no siente nada a pesar de la aplicación de cierta potencia.
- Grado II: calor suave (ligeramente perceptible). Es supraliminal, pero con leve sensación térmica.
- Grado III: calor moderado (claramente perceptible). La sensación de calor está bien definida, pero es agradable.
- Grado IV: calor intenso (fuertemente perceptible). Puede llegar a rozar el umbral del dolor, sobre todo, después de cierto tiempo.
- Grado V: calor quemante (percepción de quemadura). El calor se vuelve doloroso.

Suele emplearse, en la mayoría de los tratamientos, el calor suave (grado II) y el moderado (grado III). El subliminal (grado I) se utiliza con la alta frecuencia atérmica y el intenso (grado IV) se puede aplicar durante poco tiempo.

Tiempo de la sesión

La fisiología enseña que los tejidos humanos deben mantener una temperatura media de 37 °C. Así pues, si se provoca un aumento de la temperatura, el sistema neurovegetativo lo detectará y desencadenará mecanismos de termorregulación (siempre que la zona no se halle afectada por denervaciones u otras alteraciones neurológicas). Si éste es el caso, su poder de respuesta estará muy afectado o, incluso, anulado, situación que debe tenerse en cuenta como contraindicación o precaución importante.

El mecanismo de termorregulación más inmediato consiste en realizar una vasodilatación —en principio, superficial, pero también en profundidad— en la zona con el fin de aportar abundancia de sangre que la refrigerare y trasladar la caliente a otras zonas con gradiente térmico más bajo mediante un volumen de riego local más aumentado de lo normal.

Si esta «refrigeración», mediante el riego superficial a través de la piel y otras zonas profundas próximas, no fuera suficiente como para mantener los 37 °C, el sistema nervioso desencadenará sudoración a fin de refrigerar con mayor eficacia la piel, mediante evaporación, y así conservar la vasodilatación.

En caso de fracasar ambas medidas, se iniciaría una vasoconstricción paradójica y sudor frío. *Se está saturando al sistema biológico.* Debe evitarse que aparezca sudoración y vasoconstricción. Además, si el sistema circulatorio se mantiene sometido a efectos del calor durante bastante tiempo, se producirá fatiga en la vasodilatación, lo que conducirá a una dilatación descontrolada, se lesionarán las venillas y se extravasarán los elementos formes de la sangre, apreciadas como pequeñas Petequias o las denominadas «cabritillas» que se detectaban en las mujeres costureras por mantenerse durante horas frente a los braseros.

Así pues, la dosis empleada debe adecuarse para que el organismo, con respuesta de simple vasodilatación, sea capaz de refrigerar la zona durante el tiempo suficiente y no fatigue a la fibra lisa de los sistemas circulatorios sanguíneo y linfático.

En las figuras 13-18 a 13-21 se muestra de forma gráfica la respuesta habitual de un organismo en relación con la vasodilatación a cau-

sa del aumento térmico en los tejidos, como mecanismo de termorregulación, de acuerdo con los distintos niveles de termoterapia y el tiempo de aplicación.

Según esto, los mejores tiempos de aplicación de alta frecuencia térmica están determinados por la coincidencia con el inicio de fenómenos fisiológicos no buscados, como la vasoconstricción, la sudoración o la vasodilatación descontrolada.

Figura 13-18. Respuesta de vasodilatación con aplicación de calor subliminal (grado I) durante más de 30 minutos.

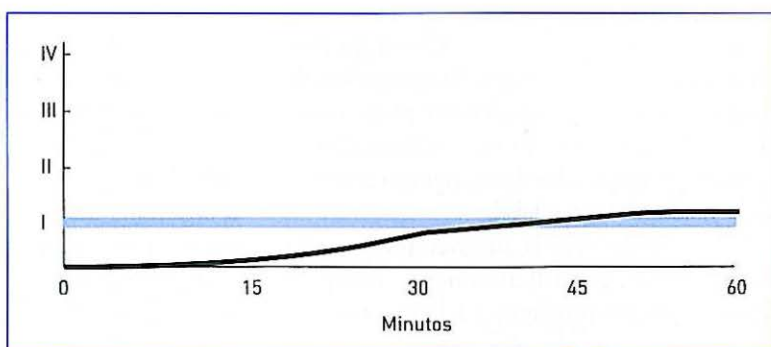


Figura 13-19. Respuesta de vasodilatación con aplicación de calor suave (grado II) entre 20 y 30 minutos.

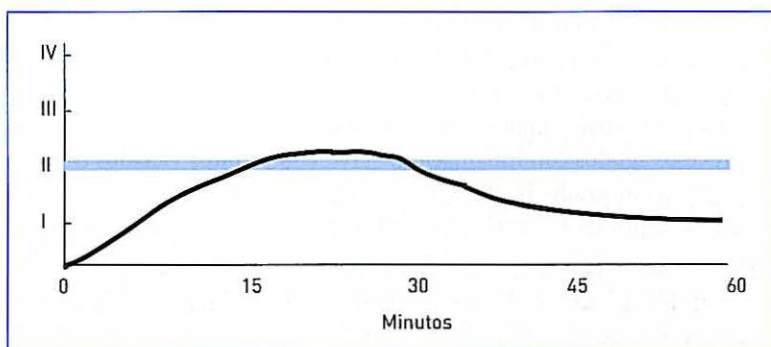
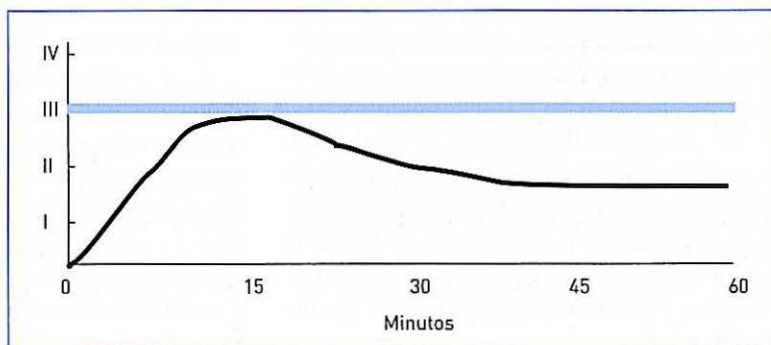


Figura 13-20. Respuesta de vasodilatación con aplicación de calor moderado (grado III) durante unos 15 minutos.



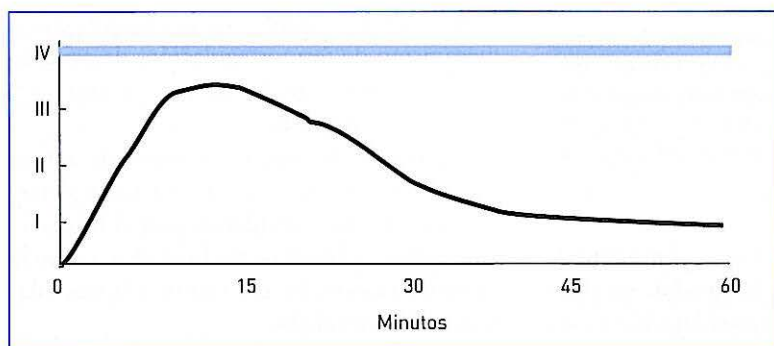


Figura 13-21. Respuesta de vasodilatación con aplicación de calor intenso (grado IV) entre 5 y 10 minutos.

Si se aplica el nivel I (Fig. 13-18) no perceptible, de forma constante, la generación de calor resultará muy baja, lenta y poco ascendente. De aparecer respuesta «refrigeradora», se manifestaría al cabo de un tiempo considerable y, además, sería débil.

Esto justifica que la magnetoterapia y la alta frecuencia pulsátil atérmica se indiquen durante tiempos próximos a 1 hora o más.

Aunque no se obtenga estímulo térmico perceptible por los termorreceptores, el sistema neurovegetativo controla el aumento metabólico con precisión sin necesidad de que aparezca el estímulo térmico a nivel consciente. Ésta es la causa por la cual se aplica esta modalidad en los procesos agudos con inflamación.

Frente a un grado II (Fig. 13-19) ligeramente perceptible, la cantidad de calor generado es mayor y de ascenso más pronunciado; por consiguiente, el sistema neurovegetativo se pondrá en acción con más rapidez y eficacia. Más de 30 minutos de sesión no serían adecuados, ya que comenzaría la sudoración y aparecería una ligera vasoconstricción que acompañaría de forma sinérgica a la contracción de la musculatura lisa de las glándulas sudoríparas.

Ante un grado III (Fig. 13-20) moderado, la vasodilatación se consigue en bastante poco tiempo, entre 10 y 15 minutos. Se mantiene el máximo efecto y después de 15 minutos darían comienzo las respuestas no buscadas. Por esto, 15 minutos sería el tiempo medio recomendado.

El grado IV (Fig. 13-21) generará una sensación de calor casi sofocante y desencadenará con rapidez vasodilatación refrigeradora de la zona, pero, a pesar de ello, no será suficiente para liberar todo el calor generado de forma local, con lo cual el organismo después de 5 a 10 minutos, como mucho, provocará la sudoración y vasoconstricción paradójica por saturación del sistema. Al utilizar el nivel IV, se buscarán objetivos desencadenantes de intensas respuestas vasodilatadoras y, una vez que se hayan conseguido, se retirará la aplicación transcurridos de 5 a 10 minutos.

No debe caerse en la aplicación estandarizada de «siempre 20 minutos, media hora o 10 minutos» de acuerdo con los gustos, hábitos viciados o preferencias del terapeuta. Se necesita contar con los objetivos que deben conseguirse, la respuesta del paciente, el estado fisiopatológico del sistema neurovegetativo en el paciente, el instrumental utilizado, etc. Como norma general puede considerarse que *el tiempo de la sesión debe detenerse cuando en la zona comienza la sudoración, salvo que se pretenda justamente el efecto de sudoración.*

Es frecuente encontrar en equipos de termoterapia profunda recomendaciones programadas, en las cuales las potencias crecen a la vez que los tiempos, cuando ocurre lo contrario, es decir, al aplicar alta potencia, la generación de calor es rápida y pronto se saturará la capacidad de termorregulación, lo cual obliga a concluir la sesión antes que si la potencia fuera de valores inferiores.



Figura 13-22. Electrodo de tipo «artesa», típico para aplicación en lumbalgias.

Está muy extendido el vicio de pensar que la dosificación es la potencia ajustada en el aparato, cuando este parámetro está sometido a multitud de variantes, como potencia es «lo que ocurre» sólo en un segundo, agotamiento del equipo aplicador, tamaño de los electrodos, volumen de los tejidos corporales, distancia a la piel, tipo de tejidos, respuesta de cada paciente, etcétera.

En definitiva, la técnica es más compleja de lo que a simple vista parece y, aunque no debe plantearse como a continuación se propone, sin que sirva de precedente, se sugieren poten-

cias y tiempos que con frecuencia se utilizan en aplicaciones cotidianas para adaptarse a los cuatro grados de uso habitual, aunque sólo sea para responder al jefe de sección que plantea:

«...todo eso, en teoría, está muy bien, pero yo necesito unas pautas simples y sencillas para indicar a la auxiliar...».

Si se considera un electrodo o cabezal como el de la [figura 13-22](#), a una distancia de la piel entre 2 y 3 cm y un paciente con respuestas normales, podría recomendarse lo siguiente:

- Grado I: ± 40 W con 30 minutos ([Fig. 13-23 A](#)).
- Grado II: ± 60 W con 20 minutos ([Fig. 13-23 B](#)).
- Grado III: ± 80 W con 15 minutos ([Fig. 13-23 C](#)).
- Grado IV: ± 100 W con 10 minutos ([Fig. 13-23 D](#)).

ALTA FRECUENCIA ATÉRMICA

Cuando se utiliza esta expresión, en general se piensa en aplicaciones pulsátiles de alta fre-

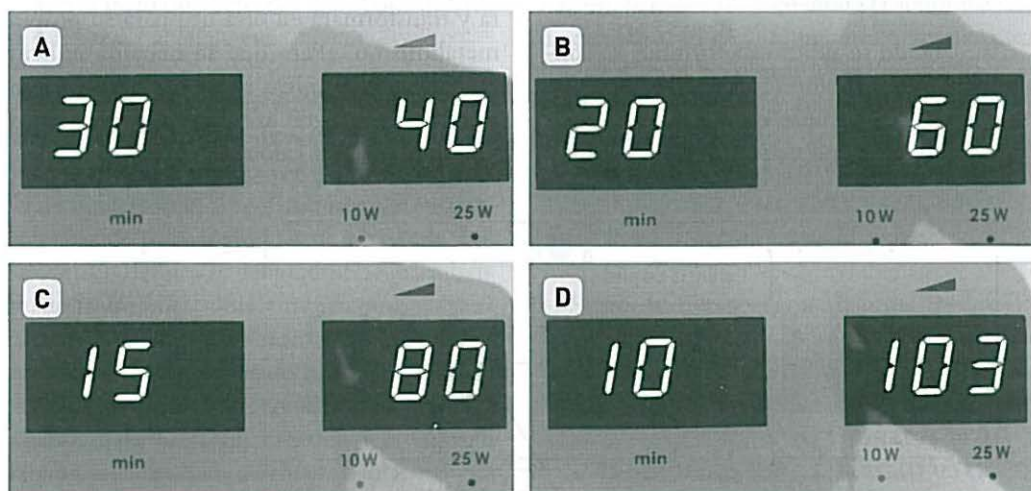


Figura 13-23. A) Valores habituales en el grado I. B) Valores habituales en el grado II. C) Valores habituales en el grado III. D) Valores habituales en el grado IV.

cuencia en lugar de pensar en aplicaciones de forma continua.

Antes de avanzar más, debe establecerse que la alta frecuencia atérmica no siempre produce tan poco calor para no ser detectado por los termorreceptores porque lo hace en modo pulsado. Sin embargo, el grado I de alta frecuencia continua es una aplicación atérmica. Ciertas aplicaciones pulsátiles pueden ser también térmicas, aunque en la mente de muchos profesionales se asocian las aplicaciones pulsátiles sólo con aplicaciones atérmicas.

En su momento se diseñaron equipos en que, debido a las interrupciones en la alta frecuencia, el efecto fundamental provocado era la reducción de la potencia eficaz aplicada por debajo de los 30 W para evitar los efectos de la clásica continua o térmica (con electrodos de tamaño medio).

Se aplica la fórmula de la potencia eficaz y se establecen unas características técnicas limitadas al hecho de que la aplicación siempre será pulsátil, la potencia de pico en cada pulso no superará los 250 W, la anchura de pulso no superará 0,1 ms, la frecuencia de pulsos no superará los 1.000 Hz:

$$W_{ef} = W_p \cdot t_p \cdot F_{Hz} \cdot 1,$$

Así, cuando se aplica esta fórmula, se conseguirán siempre valores inferiores a 30 W de potencia eficaz siempre que se utilicen electrodos normales y no pequeños (Fig. 13-24).

Además, parece que se producen efectos fisiológicos sobre la materia viva distintos a los calóricos tratados más adelante. No obstante, a los pulsos de alta potencia se les «atribuyen» efectos nuevos, como los de electroporación.

Se afirma que «la alta frecuencia atérmica pulsátil está indicada en los procesos agudos», ya que mejora el nivel de polarización de la membrana, recompone proteínas y sus cadenas, mejora la reproducción celular, ocasiona un fuerte efecto antiálgico, produce la reabsorción de edemas, la cicatrización rápida de heridas, la reabsorción rápida de hematomas y la estimulación potente de la circulación periférica.

Estas sugerencias terapéuticas se realizaron en la época en que se hizo mucha referencia a la electroporación celular que se realizaba con pulsos de radiofrecuencia. Sin embargo, por mucho que los fabricantes intenten sustituir los equipos de radiofrecuencia continua (normalmente térmica) por éstos, los fisioterapeutas saben, por la práctica cotidiana, que los efectos fisiológicos antes citados requieren tiempos muy largos de exposición y los resultados nunca son tan claros como en las aplicaciones térmicas. Con todo, no se puede negar su efectividad, pues siempre que se aplique energía al organismo, éste la absorberá y transformará en otra útil para su propio metabolismo. ¿Para qué se necesita aplicar 10 sesiones atérmicas si con una sola sesión térmica se consigue lo mismo, salvo en casos no indicados para calor?

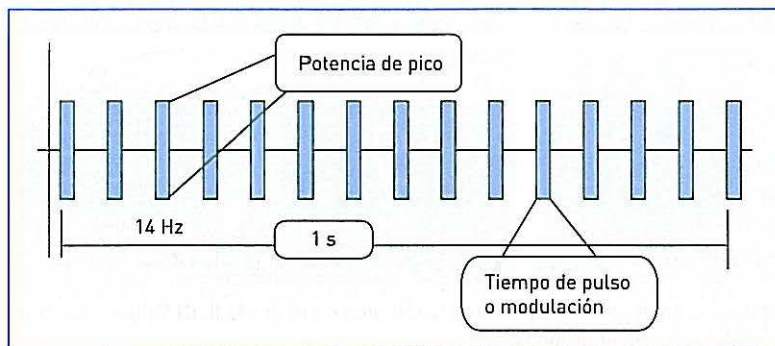
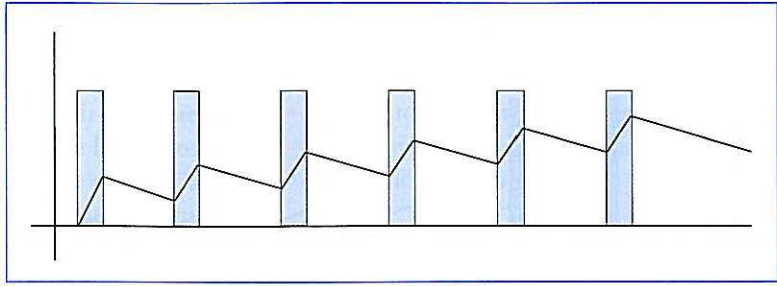


Figura 13-24. Los pulsos o modulaciones en alta frecuencia aportan una potencia real o eficaz diferente a la que se ajusta.

Figura 13-25. La línea quebrada indica la resultante térmica provocada por los pulsos que, en este caso, tiende a ser positiva o acumulativa.



Al trabajar con alta frecuencia pulsada atérmica, se presentan con frecuencia situaciones en las cuales no se sabe si se aplica mucha o poca energía (ni tan siquiera se dispone de las aportaciones subjetivas del paciente) y podría presentarse la circunstancia de que el equipo no funcionara y todos estuvieran tan conformes con la terapia. Dependiendo de la máquina, cuando se aplica frecuencia atérmica, pueden rondar dudas acerca de si:

- El tiempo es suficiente o es excesivo.
- La energía aportada en potencia es suficiente o excesiva.
- Si estará en correcto funcionamiento el aparato o estará averiado dado que no provoca estímulo sensitivo en el paciente.
- La confusa información de los pacientes acerca de lo que detectan debe considerarse o no será fiable, etcétera.

Frente a la aplicación térmica, se parte de la referencia, aunque subjetiva, de la situación en que el paciente comienza a sentir calor (grado II) de manera que, si se disminuye un poco la potencia, se pasa al grado I, inmediatamente por debajo del límite del grado II. Sin embargo, en la atérmica, donde nunca puede alcanzarse el grado II y disminuirse un poco, no se sabrá si se está muy alejado del límite térmico o se está próximo, si dicho límite resulta insuficiente o suficiente. En resumen, es un mal sistema para dosificar de forma fiable.

Es recomendable ajustar la potencia de la radiofrecuencia atérmica y elevarla hasta

la percepción térmica del paciente y reducirla hasta que desaparezca la sensación de calor. En determinados pacientes, como los que padecen algodistrofia simpático refleja, potencias muy reducidas y alejadas del límite térmico provocan importantes síntomas de dolor.

Generación de calor con pulsos

La generación de calor en los tejidos, cuando se aplica alta frecuencia continua, es constante, sin detenciones. Con todo, cuando se producen interrupciones, la energía conseguida en un instante tiende a disminuir de manera lenta durante el reposo, aunque el siguiente pulso consigue elevar de nuevo el nivel que restaba (Fig. 13-25).

Dependiendo de si este efecto tiende a mantener la generación mayor que la eliminación, lentamente aumentará la acumulación de calorías y su correspondiente temperatura. En cambio, si predomina la refrigeración sobre la generación, el aporte será mínimo (fenómeno característico de la alta frecuencia pulsada atérmica; Fig. 13-26).



Vídeo 13-3. Ratio pulso-reposo

Según lo expuesto, se dispone de los siguientes pulsos:

- Continuo:
 - Térmico para los grados II, III y IV.
 - Atérmico para el grado I, subliminal (ajustar potencias bajas).

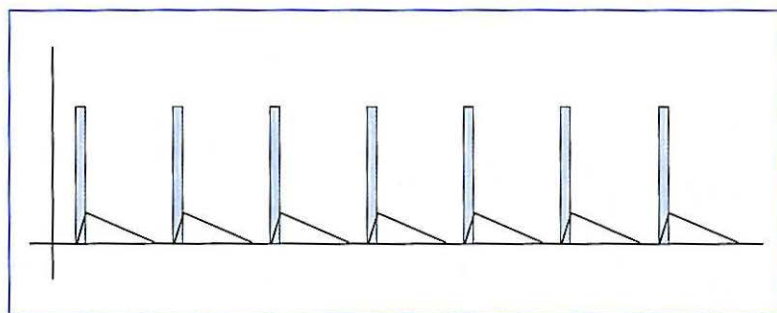


Figura 13-26. La línea quebrada indica que el calor generado por cada pulso se elimina durante los reposos y no se produce efecto acumulativo de calor.

• Pulsátil:

- Térmico para los grados II, III y IV (la potencia eficaz es capaz de generar calor).
- Atérmico (la potencia eficaz no puede generar calor perceptible).

De ambas formas puede provocarse el efecto térmico y el atérmico.

Según la situación de cada paciente, debe decidirse qué modalidad o grado térmico hay que aplicar y no conviene olvidar que existen procesos patológicos en que se manifiesta un trofismo excesivo con su consiguiente exceso de energía, situación en la cual otro aporte energético (por reducido que fuese) agravaría más la patología. El frío actuaría como magnífico antiinflamatorio por eliminación de calorías en lugar de aporte.

En otras circunstancias, el metabolismo no es adecuado por deficiencias en su transformación energética, aunque el proceso inflamatorio se mantenga de forma considerable. Cierta nivel de aporte energético contribuiría a reducir de forma satisfactoria las deficiencias que el organismo por sí solo no es capaz de resolver. Decidirse por un grado II o I inmediatamente por debajo del II podría ser una opción muy interesante.

Puede hacerse referencia a los procesos energéticos para que la bomba de sodio-potasio y otras completen su ciclo. Puede ocurrir que, debido a la enfermedad (aunque persista una inflamación elevada), la síntesis de adenosín trifosfato (ATP) no se pueda concluir por falta

de adenosín difosfato (ADP) o por deficiente movimiento browniano; situación que puede resolverse con aporte energético moderado y que no acentúe la inflamación. Un grado II sería el adecuado para este problema.

Son situaciones intermedias en que no se muestra una inflamación aguda e intensa ni tampoco se ha cronificado el proceso. En estos estadios de la enfermedad es recomendable probar resultados con frío, alta frecuencia atérmica o alta frecuencia térmica en grado I, II o, tal vez, III. Ante la duda para decidirse por el calor o el frío, una solución útil y rápida la aportan los tests de kinesiología holística.

Control de la potencia con frecuencia pulsátil

Dado que la alta frecuencia pulsátil consiguió cierto renombre, se mantienen sistemas de pulsada, que no tienen nada que ver con la atérmica; simplemente se introducen interrupciones que mantienen la potencia a niveles térmicos o se utilizan sistemas de pulsada para controlar la potencia aplicada, pero con una potencia eficaz que cubre perfectamente todos los grados de alta frecuencia térmica y el grado I atérmico.

Se supone una aplicación con cabezal de tamaño medio en continuo y 50 W; seguramente generará una percepción térmica de grado II o grado III.

Se vuelve a suponer una aplicación pulsada con el mismo cabezal de antes y la potencia

eficaz de 50 W: ¿Producirán ambas la misma sensación en el paciente? ¿Qué diferencia existe entre ambas aplicaciones?

En la pulsada, para conseguir una potencia eficaz de 50 W, la potencia de los pulsos (de pico) tuvo que ser mucho más alta que la eficaz. Las potencias altas penetran más que las bajas y la diferencia que nota el paciente es la percepción de calor más profundo.

Así pues, si se pretende aplicar una microonda en la cápsula articular de una cadera, será mejor aplicar radiofrecuencia pulsada, *pero siempre que la resultante de potencia equivalga a la potencia que se hubiera utilizado en continua*. Si se desea aplicar la misma microonda sobre la masa muscular del glúteo, se ajustará en continua.

En conclusión, si las aplicaciones pulsadas son capaces de alcanzar potencias eficaces semejantes a las que se consiguen en continuo, se afirmará que a igual potencia real:

- la radiofrecuencia pulsada penetra más,
- la continua penetra menos.



Video 13-4. Pulsado térmico y atérmico

EFFECTOS FISIOLÓGICOS

Cuando se aplique alta frecuencia térmica, el organismo humano responderá con las siguientes manifestaciones:

- Aumento de la temperatura en la zona.
- Activación del sistema nervioso vegetativo.
- Respuesta del mecanismo de autorregulación térmica.
- Hiperemia y vasodilatación.
- Licuación del líquido intersticial por extravasación de agua.
- Renovación del líquido intersticial.
- Alcalinización del ambiente biológico de la zona.
- Eliminación de residuos metabólicos.
- Mejora del nivel de polarización celular.

- Analgesia en dolores de origen bioquímico (también en mecánicos y neurálgicos de forma indirecta).
- Aumento de la temperatura general (después que haya pasado cierto tiempo de la sesión).
- Relajación muscular:
 - Por vía refleja sensitiva.
 - Porque alivia el dolor.
 - Porque elimina residuos metabólicos.
 - Por aumento del aporte energético.
- Diapédesis de elementos de defensa en la zona afectada.
- Licuación de geloides y edemas densos.
- Eliminación de edemas (locales) por vía linfática y sanguínea. El edema generalizado en un miembro por compromiso trombótico o flebítico será una contraindicación.

Si se realiza un análisis más detallado, se pueden clasificar según el medio o sistema en que se influye:

- Sistema nervioso sensitivo.
- Sistema nervioso vegetativo.
- Electroquímica de los tejidos.
- Sistema nervioso motor.

Procesos sensitivos. Las terminaciones nerviosas sensitivas (termorreceptores) transmiten información del aumento de calor en la zona:

- Si es débil, se desencadenará respuesta de sedación y termorregulación.
- Si es excesivo, desencadenará respuesta de defensa y termorregulación.

Procesos vegetativos. El sistema neurovegetativo responde con vasodilatación local para refrigerar la zona y tratar de impedir que se superen los 37 °C. Si el calor generado es excesivo, fracasará la termorregulación y se correrá el riesgo de producir daños celulares (se ha saturado el sistema biológico).

La cantidad de calor generado logrará que la vasodilatación sea mayor o menor de manera que:

- Frente a un calor suave (baja potencia), la vasodilatación es controlada y los vasos evacúan con eficacia.
- Frente a un calor medio (potencia moderada), los vasos sanguíneos y linfáticos pueden responder de forma perfecta al trabajo exigido si el medio no sufre alteración importante o destrucción del propio sistema circulatorio. Sin embargo, si la zona está soportando un edema intenso, fracasarán ambos sistemas evacuadores.
- Frente a un calor intenso (alta potencia) se corre el riesgo de que sendos sistemas circulatorios fracasen (incluso si se cuenta con las mejores condiciones biológicas), lo que provocará extravasaciones y encharcamientos de líquido intersticial con su lógica alteración iónica, desencadenante, cuando menos, de dolor.

Una propuesta que puede encontrarse en la bibliografía sobre termoterapia profunda con radiofrecuencia, consiste en *sobredosificar* y generar alteración tisular por exceso de aporte energético y el aumento de la temperatura por encima de los 42 °C. Esto implica daño celular que desencadenará respuestas inflamatorias reparadoras en las horas siguientes a la aplicación.

Esta inflamación provocada (en teoría, reparadora) en determinadas circunstancias tróficas de la zona es positiva, pero en ciertos procesos patológicos contribuye al agravamiento de la patología.

Se concluirá que (sin sobredosificar), cuando se esté frente a procesos edematosos, el organismo debe recibir poca energía. En procesos inflamatorios agudos (-itis) está contraindicado el calor porque suele resultar más eficaz la aplicación de frío. Frente a inflamaciones crónicas con edema y fibrosis, se

suministrará un calor suave de grado II que restablezca el riego y fuerce al sistema neurovegetativo a una respuesta de mayor eficacia.

En situaciones en que puede dudarse acerca de la indicación del calor o el frío, habrá que probar ambos. Como norma general, se considerará que en procesos con el metabolismo alto y elevada actividad neurovegetativa se acentuarán los síntomas. El frío será el antiinflamatorio más adecuado (situación coincidente con procesos agudos). Con todo, si la enfermedad local necesita reactivación metabólica para normalizar su función, se aportará energía que reactive el metabolismo de la zona.

Ante tejidos orgánicos degenerados (procesos de -osis), por lo general, la alteración se debe a mala circulación y poco aporte nutritivo en el foco de lesión. La alta frecuencia térmica ofrece en este campo grandes indicaciones sobre tejidos y zonas, tales como zonas esclerosadas, fibrosis capsulares, viejas contracturas, bolsas de «geloides», zonas isquémicas, cartílagos artrósicos, etcétera.

En estas circunstancias se requiere calor intenso, de grado III o IV, aunque sin molestia. En caso de utilizar calor de grado IV, se aplicará durante un tiempo de 5 a 10 minutos para forzar la vasodilatación y sus efectos, que reactiven el trofismo y el metabolismo celular.

Procesos electroquímicos de los tejidos.

La vasodilatación permite el intercambio de líquidos y sustancias plasmáticas que transforman la química local: regulando el pH, produciendo reequilibrio iónico, repolarizando la membrana, reactivando la bomba de sodio-potasio (y otras bombas), mejorando el metabolismo, mejorando la función celular, reabsorbiendo catabolitos, mediante la diapédesis de elementos de defensa y fagocitarios, y la transformación de las disoluciones orgánicas de gel a sol.

Si el calor generado es excesivo, las respuestas serán intensas, con riesgo de alterar e invertir la función normalizada. En el uso terapéu-

tico habitual (sin sobredosificar) es preferible pecar por defecto en la potencia aunque se requiera más tiempo en la sesión.

Procesos de tensión muscular. Si la sensación de calor es agradable, sedante y no agresiva, se provocará una reactivación del sistema parasimpático. Sin embargo, si la sensación de calor es quemante, se provocará un predominio del sistema simpático.

Cuando domina el parasimpático se produce sopor, sedación general y relajación muscular.

En cambio, si se estimula al simpático, aparecerán calor doloroso, enervación e irritación general, y contractura muscular de defensa.

Además, el aumento del riego sanguíneo y linfático intramuscular contribuye a atenuar dolores y tensiones intratisulares, y provocará el alivio de hipertonías musculares y miofasicales.

Número de sesiones con alta frecuencia

El número de sesiones no debe ser definido *a priori*. Se retirará la técnica cuando se aprecie que se ha alcanzado el objetivo propuesto. Si después de haber realizado 4 o 5 sesiones no se aprecia respuesta terapéutica, hay que pensar en cambiar de táctica porque ésta avanza por un camino erróneo. Aplicar 15 o 20 sesiones protocolizadas a todos y para todo, muestra gran falta de profesionalidad y la consecuente pérdida de respeto de los pacientes hacia los terapeutas, ya que estos pacientes entienden que ese tipo de tratamientos implican rutina y poco interés por parte del profesional al cual acuden.

INDICACIONES

Las técnicas que utiliza la radiofrecuencia están indicadas con los objetivos siguientes:

- Dolor químico.
- Dolor isquémico.

- Contracturas musculares.
- Inflamaciones crónicas.
- Edemas locales y de poca entidad.
- Procesos artrósicos articulares.
- Procesos artríticos no agudos.
- Derrames articulares cronificados, densos y pastosos.
- Procesos degenerativos a causa de trofismo insuficiente.
- Algodistrofia simpático refleja en los primeros estadios y con suministro muy bajo de energía (potencia baja y dosis baja).

PRECAUCIONES

Por las peculiaridades de esta frecuencia, debe procederse de la siguiente manera:

- Comprobar que el paciente conserva la sensibilidad térmica.
- Poner especial atención al tratar ancianos, pues es sabido que con la edad pierden la percepción térmica y sus mecanismos de termorregulación.
- Controlar de forma adecuada el nivel de calor aplicado en cada indicación.
- Decidir la modalidad más conveniente para cada caso (onda corta o microonda).
- Prestar atención a las denervaciones parciales (dosis baja).
- Tener en cuenta las osteosíntesis metálicas cercanas.
- Aplicar de forma moderada en los casos que se prevean roturas de tejido y consiguiente destrucción parcial de los vasos circulatorios.
- No colocar los electrodos en contacto con la piel para no impedir la ventilación y la liberación del calor generado en superficie.
- Despejar la zona de prendas de vestir, sobre todo tejidos sintéticos.
- En la onda corta, aislar y alejar al paciente de materiales conductores y no tocarlo durante la sesión.
- Controlar y valorar los procesos de inflamación y derrames articulares.

- Controlar los procesos de osteoporosis.
- Controlar el proceso de los callos óseos debido a la creencia atribuida a esta terapia (discutida) referente a su capacidad de arrastre de calcio fuera de la zona de callos incipientes.
- En mujeres, considerar si están embarazadas o en período de menstruación para evitar la aplicación directa o próxima a la zona afectada. En caso de dispositivo intrauterino, evitar aplicaciones en aquellas que las ondas electromagnéticas invadan el útero.

En esta técnica debe indicarse al paciente que avise si percibe que la corriente le quema, si aparece dolor o cualquier otra sensación desagradable. Debe explicársele lo que sentirá y cómo debe protegerse frente a situaciones inesperadas en la evolución de la sesión; por ejemplo, si le quema, debe retirarse o retirar el electrodo.

No es extraño encontrarse con pacientes tímidos que en la primera sesión soportan dosis excesivas o quemantes porque piensan «que tiene que ser así» o «que cuanto más calienta, más repara».

EXPLORACIÓN Y PREGUNTAS PROTOCOLARIAS A LOS PACIENTES ANTES DE APLICAR TERMOTERAPIA PROFUNDA DE ALTA FRECUENCIA

Mediante la exploración en la zona se buscarán cicatrices de intervenciones, procesos inflamatorios agudos, derrames, parálisis, edemas, se valorarán la indicación y su dosis adecuada, las roturas tisulares, las fracturas, etcétera.

Entre las preguntas que cabe realizar se proponen las siguientes:

- ¿Sufre parestia o parestesia en la zona? ¿Siente el calor? Debe realizarse una prueba sobre la zona con dos objetos, uno frío y otro caliente.

- ¿Lleva algún objeto metálico en la zona por alguna intervención quirúrgica?
- ¿Ha tenido fiebre durante los últimos días?
- ¿Está tomando algún anticoagulante?
- ¿Es hemofílico?
- ¿Ha padecido alguna enfermedad infecciosa, pulmonar o con accesos?
- ¿Padece algún proceso tumoral?
- ¿Tiene la menstruación?
- ¿Lleva algún dispositivo intrauterino?
- ¿Está embarazada?

Al interrogar al paciente sobre procesos tumorales, siempre se hará con la debida prudencia y se evitará la alarma que este tema provoca.

Si se encuentran en la exploración intervenciones quirúrgicas recientes, no debe aplicarse termoterapia profunda porque las alteraciones neurovegetativas y vasculares por la cirugía van a impedir la respuesta adecuada de termorregulación y de aumento circulatorio. Esto implica acumulación energética excesiva, lesión tisular y respuesta fibrótica (sin inflamación) que contribuye al agravamiento del proceso a medio y largo plazos. Es típico el caso de las fibrosis en intervenciones por hernia discal lumbar que se tratan con termoterapia profunda antes de lo debido y con grados III o IV.

CONTRAINDICACIONES

Se desaconseja su uso en los siguientes procesos o localizaciones:

- Procesos inflamatorios agudos.
- Implantación de dispositivos intrauterinos (en aplicaciones sobre la zona).
- Durante la menstruación (si afecta a la zona).
- Sobre osteosíntesis y endoprótesis metálicas.
- Procesos de calcificación incipientes.
- Procesos infecciosos y abscesos purulentos (salvo cuando se pretenda su explosión).
- Tuberculosis activa e inactiva.

- Procesos tumorales (aunque se ha utilizado la alta frecuencia térmica intensa para destruir tumores).
- Evitar el sistema nervioso central.
- Denervaciones totales.
- Ganglios linfáticos infartados.
- No aplicar en los ojos dado que el calor generado en el humor vítreo produce cataratas a largo plazo y aumento excesivo de la presión intraocular en el tiempo de aplicación.
- No aplicar en los oídos, por razones similares a las del ojo, por hallarse líquidos contenidos en cavidades no elásticas, con el consiguiente riesgo compresivo para las terminaciones nerviosas.
- No invadir el corazón ni los marcapasos implantados sobre dicho órgano (Fig. 13-27).
- No aplicar en hematomas, roturas tisulares y derrames recientes y agudos.
- No aplicar en tromboflebitis (puede liberar y diluir en parte coágulos o trombos).
- No aplicar en testículos (condición sometida a polémica dado que puede resultar muy útil como tratamiento bien controlado e indicado).
- No aplicar durante procesos de gestación.
- No aplicar cuando exista fiebre.
- No aplicar en hemofílicos.
- No aplicar en tratamientos con anticoagulantes.
- No aplicar en articulaciones con:

- Artritis séptica.
- Artritis reumatoidea durante los brotes.
- Artritis y artrosis en brotes agudos.
- Derrames articulares (cuando menos, hay que vigilar su evolución).

- Precauciones especiales cuando se aplique alta frecuencia sobre las glándulas hormonales o cerca de ellas.

ONDA CORTA



Videos 13-5 y 13-6. Onda corta 1 y Onda corta 2

La onda corta es una de las dos principales variantes o metodologías para aplicar alta frecuencia. La diferencia con la microonda estriba, sobre todo, en el método de aplicación, el manejo de los electrodos y el hecho de que el calor generado es distinto al de la microonda.

El diferente manejo y metodología de aplicación se debe al hecho de que la onda corta trabaja con campo de condensador, campo de turbulencia electromagnética y campo de inducción.

La microonda trabaja con campo de irradiación.

El campo de condensador consiste en dos placas, entre las cuales se introduce la sección corporal que se va a tratar (Fig. 13-28 A). El campo de turbulencia es generado por una bobina situada dentro de un cabezal de forma que, al acercarla al organismo, éste quedará influido por las líneas de fuerza del campo electromagnético (Fig. 13-28 B). El campo de inducción es el generado en el interior de una bobina, la cual está formada por un cable diseñado de forma expresa para enrollarlo sobre la zona tratada (Fig. 13-28 C).

El manejo del equipo de onda corta requiere precisión, técnica depurada, conocimiento del tema y precauciones a la hora de aplicarlo. El paciente debe estar aislado de tierra, no debe entrar en contacto con otros aparatos ni



Figura 13-27. Onda corta en la que se representa con un icono la precaución de no aplicar sobre la zona cardíaca.

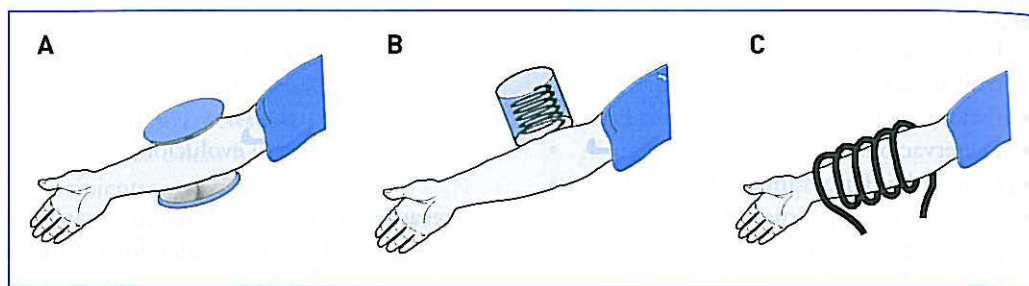


Figura 13-28. A) Campo de condensador. B) Campo de turbulencia electromagnética. C) Campo de inducción.

tocar mesas u otros instrumentos metálicos, ni se le debe palpar (sobre todo, en la zona próxima a los electrodos), pues las cargas generadas en el paciente pueden pasar a la persona que lo toca. La camilla o sillas usadas en el tratamiento serán de madera sin herrajes metálicos (o el mínimo posible).

Es habitual el uso de ondas cortas equipadas con dos electrodos de plato del mismo tamaño, pero en realidad existen, al menos, tres tamaños en electrodos de plato, así como planchas de goma de diversas dimensiones para combinarlas de forma indistinta con los platos rígidos. Los electrodos de turbulencia también se suministran en varios tamaños. El cable de inducción es de uso poco habitual, pero muy interesante. La gama de posibilidades y manejo que permite la onda corta es muy amplia y consigue resultados no alcanzados por la microonda. La onda corta es un equipo de manejo *lento y preciso, se lo debe tratar con cuidado y por personal debidamente entrenado.*

En cuanto a la calidad del calor generado y notado por el paciente es totalmente distinto al apreciado cuando se le aplica microonda. Con la onda corta, la sensación térmica es lenta, desde dentro hacia fuera, muy progresiva y profunda (lo que demuestra la existencia de los termorreceptores profundos). De esta forma hay que mantenerse 1 o 2 minutos al lado del paciente para reajustar, si fuera preciso, la potencia.

El calor generado procede de los desplazamientos iónicos a través de las disoluciones orgánicas (corrientes de convección). Por ello se pueden liberar cargas de electrones fuera del paciente o entre dos secciones corporales tratadas de manera simultánea, como las manos, las rodillas o los tobillos (Fig. 13-29). Para evitar el efecto de chisporroteo o pequeña quemadura, se intercala entre ambos elementos corporales un fieltro.

El paciente debe desprenderse de alhajas o adornos metálicos próximos a la zona tratada,

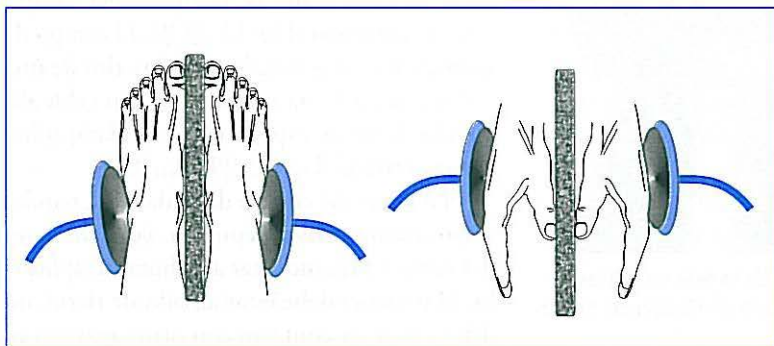
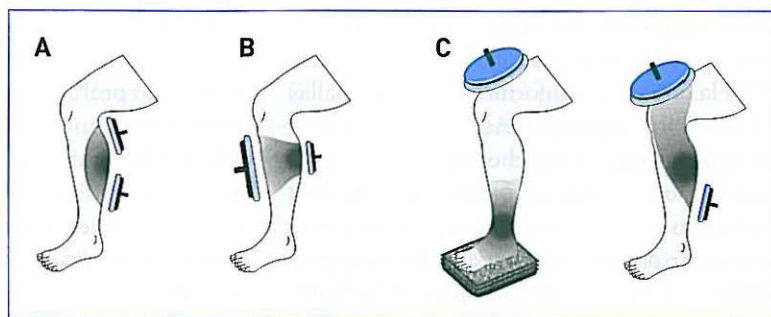


Figura 13-29. En el caso de tratar ambas manos o ambos pies de manera simultánea, el contacto accidental entre ellos provoca una pequeña quemadura que se evita con un simple fieltro.

Figura 13-30. A) Aplicación coplanar. B) Aplicación contralateral. C) Aplicación longitudinal con varias modalidades.



así como de objetos metálicos de los bolsillos si se considera que el campo electromagnético puede invadirlos. Los metales frente a la onda corta pueden provocar arcos voltaicos no peligrosos, pero alarmantes y desagradables para el paciente.

La colocación de platos o placas en campo de condensador puede llevarse a cabo de tres formas fundamentales: coplanares, contralaterales y longitudinales.

En las coplanares, los dos electrodos se sitúan en el mismo plano o ligeramente angulados para adaptarse a la superficie corporal (Fig. 13-30 A). Las aplicaciones contralaterales son las más frecuentes. Los dos electrodos se colocan uno frente al otro aunque se admite cierto desplazamiento entre ellos o alguna angulación para adaptarse a los accidentes corporales (Fig. 13-30 B). Las aplicaciones longitudinales

son interesantísimas, pues en ellas se consiguen profundidad y localización del efecto térmico en zonas difíciles (Figs. 13-30 C y 13-31).

Con los electrodos de turbulencia (monodo, minodo, diplodo, etc.) se pierde capacidad de penetración y el calor generado siempre será mayor en la superficie corporal que en profundidad. Es muy fácil de colocar, pues con aproximarlos y dirigirlos a la zona tratada (separándolo, al menos, 1 cm) y elevar la potencia, es suficiente. Por ello, dada su facilidad de aplicación, es la modalidad más habitual de tratamiento aunque pierde profundidad (Fig. 13-32), pero así se aproxima al manejo simple de la microonda.

La aplicación con cable de inducción requiere experiencia, tiempo y paciencia, pues se debe cuidar que los extremos del cable mantengan la misma longitud, las espiras no se to-



Figura 13-31. Cable de inducción electromagnética de la onda corta aplicado sobre un miembro inferior.



Figura 13-32. Electrodo de turbulencia electromagnética de onda corta. En general se denomina monodo.

quen, la forma de la bobina sea lo más homogénea posible, la goma del cable no toque la piel y la bobina se conforme sobre unas toallas o paños muy vaporosos. Además, los equipos no suelen depurarse mucho en los ajustes para trabajar con el cable de inducción y algunos sintonizan con dificultad. Es una técnica muy interesante porque consigue un calor muy profundo, extenso y uniforme, pero es bastante engorrosa de poner en práctica.

Además, existen otros electrodos pequeños para aplicaciones muy localizadas y específicas, como intravaginales, intraanales, para senos nasales, etcétera.

MICROONDA



Vídeo 13-7. Microonda

La microonda es otra de las metodologías para aplicar alta frecuencia en fisioterapia y destinada a termoterapia profunda.

La generación de calor no se basa en las corrientes convectivas de las cargas eléctricas sino que consigue la oscilación y vibración de éstas. Dicha oscilación es la productora del aumento térmico, circunstancia que permite la palpación del paciente con toda tranquilidad (incluso en la zona de aplicación bajo el electrodo).

Sólo ofrece el método de irradiación. Consiste en una antena contenida en su reflector metálico para dirigir las ondas hacia el cuerpo, que penetra en profundidad después de superar las más superficiales y pierde energía en su avance.

El paciente detecta con rapidez el calor en la piel de forma muy clara sin tener percepción térmica en profundidad (circunstancia que no implica la ausencia de termorreceptores en tejidos profundos), pues se suele defender la idea de que, puesto que es termoterapia profunda y no se siente en profundidad, no existen los termorreceptores en profundidad. Sin embargo, con la onda corta se siente calor profundo y en consecuencia «existen».

Se dispone, sobre todo, de tres tipos de electrodos: el focalizado (Fig. 13-33 A), para zonas reducidas y localizadas; el plano y alargado (Fig. 13-33 B), para zonas alargadas, y el convergente (Fig. 13-33 C), destinado a conseguir profundidad en localizaciones corporales convexas, ya que su forma provoca la emisión de tres fuentes que convergen a cierta profundidad (según el diseño del cabezal).

Existen otros electrodos pequeños para aplicaciones muy localizadas y específicas como intravaginales, intraanales, para senos nasales, etcétera.

Una ventaja que ofrece la microonda sobre la onda corta consiste en su fácil aplicación, pues basta con dirigir el electrodo hacia la superficie corporal y tratar de mantener el coberter lo más paralelo posible a la piel, a unos centímetros, y elevar la potencia.

El paciente se desprenderá de objetos metálicos de adorno que sean invadidos por el campo electromagnético porque pueden calentarse y generar pequeñas quemaduras sobre la piel. El mobiliario no tiene que ser de madera y puede tocar objetos metálicos y

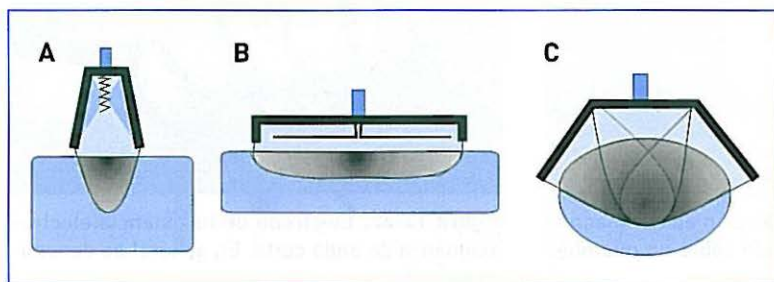


Figura 13-33. A) Electrodo foco. B) Electrodo longitudinal. C) Electrodo convergente.

el terapeuta puede palpar la zona tratada sin problemas.

Lógicamente, el sistema de dosificación se basará en el método de los grados de percepción térmica y no en la potencia aplicada, pues la distancia del cabezal, la potencia aplicada, el tamaño del cabezal, etc. influyen en la dosis.

Existe cierta polémica cuando se comparan ambos sistemas, onda corta con microonda, sobre todo, respecto a la penetración. Para no contribuir más a la confusión, a continuación se describe un fenómeno electrofísico que se pone de manifiesto en ambas modalidades: el efecto serie y el efecto paralelo.

En la microonda, siempre se produce el efecto serie mientras que en la onda corta y con campo de condensador trabajan ambos de manera simultánea, pero en las aplicaciones longitudinales predomina el efecto paralelo.

Efecto serie

Cuando las ondas de alta frecuencia pasan de un medio orgánico a otros sucesivos, las ondas se reflejan, se refractan y pierden energía en el medio de mayor resistencia que dejan atrás, de forma que cuando alcanzan las zonas más profundas lo hacen con pérdida de poten-

cia. Esta situación provoca (en general) que las zonas más superficiales sean las más calentadas (Fig. 13-34). Ver en el primer capítulo el epígrafe correspondiente a este tema.

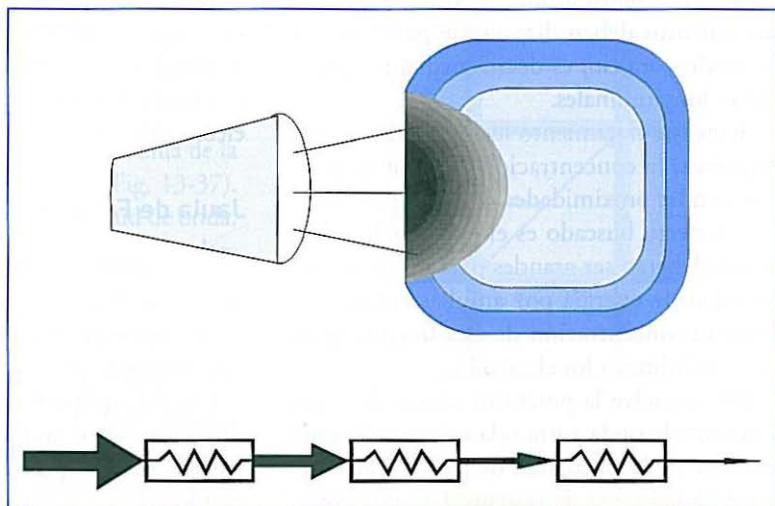
Según el esquema inferior de la figura 13-34, la potencia que se aplica por la izquierda va decayendo después de haber superado cada resistencia. Así pues, los tejidos que más potencia reciben son los superficiales y queda poca para los profundos.

Efecto paralelo

Cuando las ondas transcurren por varios medios de forma que unos se encuentran al lado de otros (paralelos entre sí), las ondas tienden a circular y concentrarse en el tejido de menor resistencia, lo que genera también mayor trabajo en forma de calor (Fig. 13-35). Según el esquema de la figura, la energía se reparte de manera que por la menor resistencia circula mayor energía y viceversa.

Supóngase una aplicación longitudinal de onda corta en campo de condensador entre la rodilla y la planta del pie. Los tejidos que se encuentran próximos a los electrodos soportarán la invasión de alta frecuencia con mayor intensidad que otros más lejanos. Con grandes

Figura 13-34. Esquema de un electrodo foco de microonda que, por ser de irradiación, tiene que ir superando capas colocadas en serie. Las capas superficiales absorben energía que se resta de las profundas.



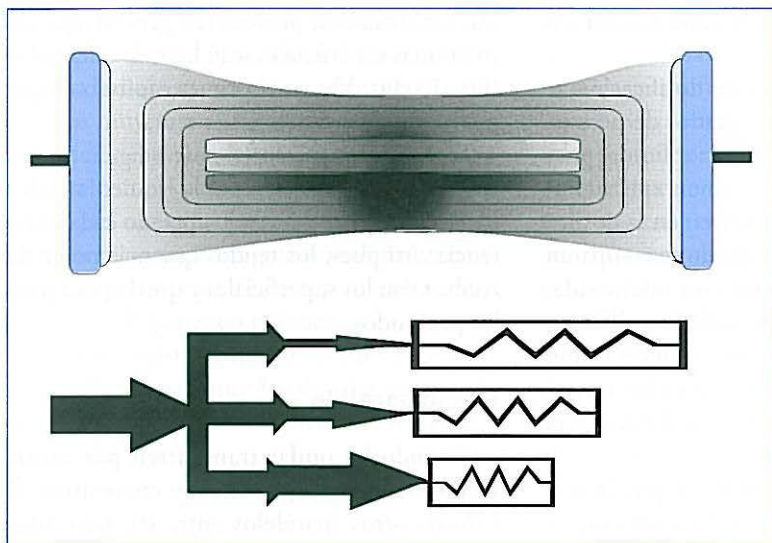


Figura 13-35. Esquema de un campo de condensador de la onda corta en aplicación longitudinal. Cuando circula por los tejidos de forma paralela, la energía busca los caminos de menor resistencia.

13

electrodos, la zona de penetración es amplia y la densidad de energía por unidad de superficie es baja. Cuando circulan a lo largo de la pierna por zonas estrechas (tobillo), la densidad de energía es muy alta y, en consecuencia, también la generación térmica (v. en detalle la Fig. 13-30 C).

En general (aunque depende del tamaño de los electrodos y la forma de aplicación) se sentirá más generación de calor en los tejidos intermedios de la pierna que en la rodilla o en el pie. Si se desea alcanzar profundidad, los tratamientos deben disponerse para trabajar en modo paralelo, es decir, mediante aplicaciones longitudinales.

Si en este tratamiento los electrodos fueran pequeños, la concentración de calor se apreciaría en las proximidades de éstos, pero dado que el efecto buscado es el paralelo, los electrodos deberán ser grandes para inyectar gran cantidad de energía por amplias zonas y así evitar la concentración de alta frecuencia en zonas próximas a los electrodos.

Ello resuelve la polémica acerca de si penetra más la onda corta o la microonda, pues más que de la capacidad de penetración, depende del sistema de trabajo. La onda corta,

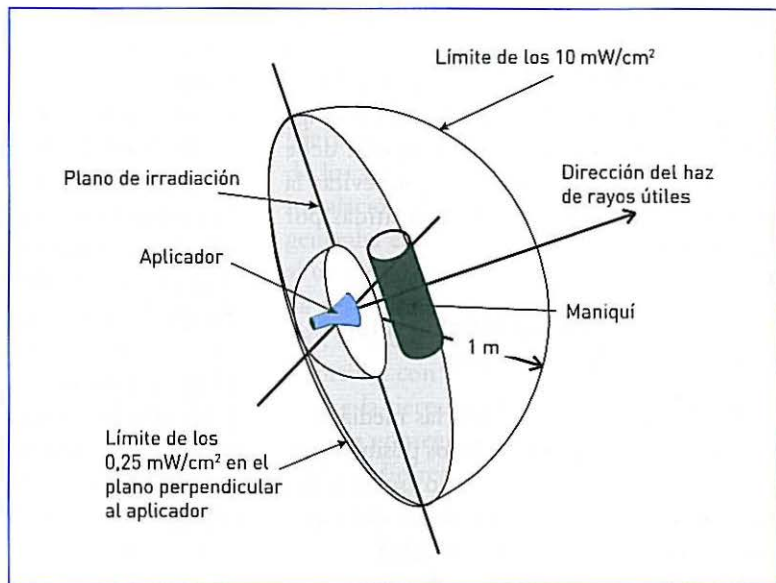
por prevalecer en ella el campo de condensador, trabajará de forma predominante como paralelo (sin olvidar que en las proximidades de los electrodos siempre lo hará en serie). La microonda siempre se irradia y penetrará en los tejidos profundos en serie.

Además, se afirma que a menor longitud de onda, mayor penetración. Sin embargo, no son comparables dado que los comportamientos electrofísicos de la materia son distintos (corrientes convectivas en onda corta y vibraciones moleculares en microonda). Dentro de las propias bandas influye su mayor o menor longitud de onda, pero la onda corta y la microonda están muy distantes en el espectro electromagnético.

Jaula de Faraday

Los equipos de alta frecuencia emiten ondas electromagnéticas en su derredor, aunque están sometidos a normativas que regulan su construcción para no superar 10 mW/cm^2 a 1 m del equipo o del cabezal en cualquier dirección, salvo en la del foco, o $0,25 \text{ mW/cm}^2$ a 1 m en el plano perpendicular al eje de emisión (Fig. 13-36).

Figura 13-36. La semiesfera que formaría un foco de emisión, cuyo radio fuera de 1 m, es el límite para medir la potencia irradiada de seguridad, que nunca debe superar 10 mW/cm^2 .



A pesar de ello, pueden detectarse, por equipos electrónicos próximos o en habitaciones contiguas, interferencias electromagnéticas que pueden influir de forma más o menos negativa de acuerdo con la función e importancia del equipo interferido. Para evitar esto, se puede crear un habitáculo de red metálica a modo de jaula (jaula de Faraday) o recubrir con red metálica la habitación que contiene al equipo de alta frecuencia.

Dicha red debe estar formada por celdillas cuadradas y de menor calibre que la longitud de onda de la radiofrecuencia emitida. Así, en microonda, cuya longitud de onda es de 12,25 cm, el máximo hueco en la celdilla de la red debe ser menor de 12,25 cm (Fig. 13-37). La onda corta posee 11 m de longitud de onda.

Una buena práctica (que tiende a perderse) en el diseño de los centros de fisioterapia consiste en elaborar boxes de tratamiento en batería con rejillas a modo de jaula de Rocher (rejillas hasta el suelo y conectadas a la toma de tierra) en los cuales se aplica la radiofrecuencia y se evitan las irradiaciones al medio. Las cortinas de los boxes también deben tener un entramado metálico conectado al enrejado para

terminar de cerrar la jaula de Faraday con una jaula de Rocher.

También es frecuente que las ondas de alta frecuencia retornen por los cables de alimentación de la red eléctrica e influyan en otros equipos conectados en la misma línea. Para evitar esta circunstancia, se interpondrán filtros antiparasitarios (en la banda de la fre-

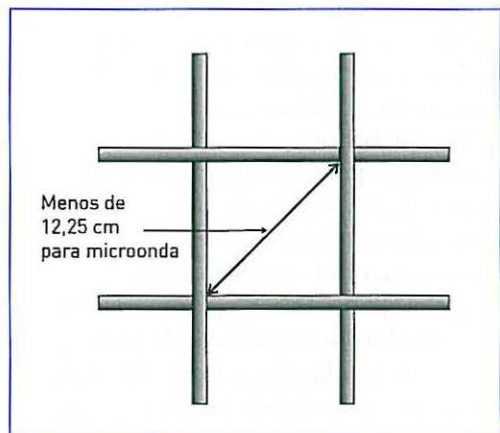


Figura 13-37. La red para formar la jaula de Faraday debe poseer un entramado con huecos menores que la longitud de onda de la radiofrecuencia que pretende retener.

cuencia en uso) en el mismo cable de conexión a la red eléctrica. *Por lo general ya están incluidos de fábrica en la entrada al mueble del aparato.* No obstante, el local que contenga un equipo o varios de alta frecuencia debe prepararse con diversos filtros para evitar la entrada en la red de las ondas emitidas por los cabezales.

Precauciones del personal sanitario frente a la radiofrecuencia

En gran parte, por influencias mediáticas, está muy extendida la idea de los posibles perjuicios para el personal sanitario (sobre todo, femenino) por el hecho de trabajar con equipos de radiofrecuencia con asiduidad.

En teoría, salvo por exceso de energía que llegaría a quemar (como en el caso del máser o del bisturí eléctrico), por defecto de energía no es peligroso en tanto que no sean radiaciones ionizantes. Dado que las radiaciones ionizantes se consideran a partir de los ultravioletas de tipo C, se está muy lejos en el espectro electromagnético para que la onda corta o la microonda se consideren peligrosas.

Sin embargo, en la práctica, se sabe que existen personas que, por estar próximos a equipos de emisión en radiofrecuencia, son sensibles a ella y manifiestan sensación de agobio, malestar, sudoración y dolor de cabeza opresivo localizado en las sienes.

Para probar que esto es así, basta con preguntar a las personas qué sienten frente a los hornos de microondas de las cocinas y se encontrará que «cierto número» de personas comentan estar mal cuando los usan.

A nivel profesional, los profesores de fisioterapia pueden observar cómo cada cierto tiempo alguno de los alumnos a los cuales se enseña onda corta o microonda en prácticas comenta que se «siente sofocado» y que necesita «retirarse para respirar un poco de aire fresco». Lógicamente, esto ocurre sin haber avisado ni condicionado al alumno de forma previa.

También están descritas situaciones semejantes con operadores de radio, cajas de supermercados y otras profesiones relacionadas con la radiofrecuencia.

Muchos de los fisioterapeutas que han observado este tipo de reacciones las han detectado en comentarios que algunos pacientes hacen al respecto. Conviene que, al conocer este inconveniente, se esté alerta por si aparecen personas que se agobien con la radiofrecuencia para tomar las medidas oportunas. Lógicamente se llevará a cabo sin condicionar de forma previa y con el debido tacto frente a posibles miedos entre la población de pacientes, cada vez más recelosa de estas terapias. Estos comentarios también son extensibles a la magnetoterapia.

Esta sensibilidad o respuesta neurovegetativa requiere investigación adecuada, suficiente y no sujeta a intereses económicos, laborales ni comerciales.

En cuanto a posibles procesos cancerígenos, influencia en la gestación o en enfermedades de tipo reumático o degenerativo, es complejo saber sobre su realidad porque (en función del lugar de donde proceda la información) cada cual puede inclinarse por unas «creencias u otras».

Asimismo, entra en juego un componente de interés propio e individual de cada persona, es decir, cuando se escucha que los teléfonos móviles producen o pueden producir procesos patógenos, se tiende a no darle importancia, pues los teléfonos poseen un «componente lúdico» del cual la persona no se quiere desprender.

Asimismo, sería interesante investigar la influencia de los campos electromagnéticos que rodean a las personas en los domicilios y lugares de trabajo provocados por la red eléctrica normal.



Vídeo 13-8. Interferencias eléctricas ambientales

Por lo que se intuye y se observa, este tema continuará sometido a opiniones encontradas, legislaciones varias, diversas y contradictorias,



Figura 13-38. Boxes en batería, formados por rejas con la doble función de jaulas de Rocher y jaulas de Faraday. Las cortinas deben tener un entramado metálico para cerrar la jaula.

así como a las creencias personales matizadas por la influencia mediática.

Años atrás, se fomentó la protección con jaulas de Faraday para evitar emisiones y, sobre todo, «interferencias en los televisores de los vecinos». Sin embargo, el coste de la instalación, por un lado, y la alarma que ello generaba en el paciente, por el otro, condujo al olvido de la campaña. Con anterioridad se ha descrito que con boxes en batería (Fig. 13-38), formados con rejas para jaulas de Rocher y cortinas con tramado metálico (todo conectado a la tierra del edificio), perfectamente se pueden conseguir jaulas de Faraday protectoras de radiofrecuencia.



Autoevaluación

13

Material complementario en el sitio web

- Autoevaluación
- Vídeos:
 - 13-1. Campo de condensador
 - 13-2. Darsonvalización
 - 13-3. Ratio pulso-reposo
 - 13-4. Pulsado térmico y atérmico
 - 13-5. Onda corta 1
 - 13-6. Onda corta 2
 - 13-7. Microonda
 - 13-8. Interferencias eléctricas ambientales





14

Magnetoterapia

Contenido

- Conceptos generales sobre los campos magnéticos
- Sistemas de medición de la energía magnética
- Teorías sobre posibles efectos biológicos en el organismo
- Hipotético diseño de un equipo de magnetoterapia
- Indicaciones, precauciones y posibles contraindicaciones

Objetivos de aprendizaje

- Conocer el electromagnetismo y las posibles consecuencias bioeléctricas en el interior del organismo.
- Reconocer los sistemas básicos de medida del campo magnético.
- Distinguir los tipos de bobinas más habituales.
- Comprender las diferentes teorías de acción sobre el organismo.
- Saber las indicaciones, precauciones y contraindicaciones en su uso.

Síntesis conceptual

- ✓ Este capítulo se plantea con cierto escepticismo sobre sus efectos terapéuticos en el organismo. En la práctica cotidiana se observa que hay efectos, a veces muy positivos y llamativos, otras veces perjudiciales para el proceso patológico. También se observan respuestas inesperadas sobre el sistema neurovegetativo.
- ✓ En este caso se desarrollan comportamientos electromagnéticos, la forma de medirlos y algunas teorías sobre respuestas biológicas aplicadas a diferentes patologías. También se insiste en la necesidad de unificar criterios sobre los diseños de equipos, su nomenclatura y los modos de manejo, así como su dosificación.
- ✓ Se sugiere un posible diseño de equipo para magnetoterapia con la intención de contribuir a unificar criterios y modos de trabajo.
- ✓ De forma general, se refieren posibles indicaciones terapéuticas, precauciones y contraindicaciones.

INTRODUCCIÓN

En los capítulos anteriores se han descrito modos de aplicación de la energía electromagnética con predominio del componente eléctrico sobre el magnético en el espectro de frecuencias más bajas para conseguir cambios químicos en los tejidos; generar estímulos sensitivos en las terminaciones y fibras nerviosas sensitivas, y provocar trabajo de contracción muscular por estímulo directo de los músculos o nervios motores.

Asimismo, se ha comprobado la aplicación de alta frecuencia a fin de generar calor intraorgánico por transformación de una banda del espectro en otra (si sólo se alcanza el grado I, se llega a conseguir calor, pero el paciente no lo percibe). Con la magnetoterapia, continúa pretendiéndose la estimulación metabólica mediante el aporte energético a base de fuerza magnética. Si se aplica esta energía con la suficiente potencia, también se convierte en calor (aunque, por lo general, es insuficiente para estimular los termorreceptores).

Esta técnica se debe considerar con las debidas precauciones, por sus polémicas e inexactitudes y, sobre todo, porque no existe ninguna metodología adecuada para la dosificación. Si una de estas técnicas no es dosificable, no debería aplicarse mientras no se resuelva el problema.

El ser humano y el resto de las especies que pueblan el globo están sometidos de forma constante a dicha energía, ya que la Tierra la genera al comportarse como un imán, es decir, se está habitando sobre un imán. Las influencias en nuestros metabolismos no se han demostrado por completo aunque se especula mucho sobre el tema (tal vez en exceso). El magnetismo terrestre es cambiante en intensidad y localización de los polos. En la actualidad se encuentra en progresiva disminución hasta su nivel 0 para volver a aparecer con inversión de polaridad, como ha ocurrido a lo largo de la historia del globo. En el momento que desaparezca, influirá en la ionosfera protectora de radiaciones espa-

ciales no deseables. Al parecer, se teoriza sobre las épocas de magnetismo 0 como épocas de grandes mutaciones en las especies que poblabon y poblarán el globo a causa de la invasión de radiaciones ionizantes, pero no está tan claro el efecto directo por la falta de líneas o fuerzas magnéticas terrestres.

Siempre que se aplique energía magnética al organismo, se afirmará que se trata con magnetoterapia, pero es habitual usar la expresión imantoterapia cuando se colocan imanes sobre la superficie corporal y magnetoterapia para los equipos que consiguen la fuerza magnética de forma artificial, tanto si lo hacen en campo continuo como en campo alterno y en campo pulsado.

La fuerza magnética no se detecta ni se siente de forma consciente, mientras que la gravedad se percibe como la lucha contra nuestro propio peso. Los efectos debidos al apoyo y el control propioceptivo antigravitatorio no deben confundirse con los que puedan generarse por el magnetismo.

El magnetismo es una de las dos fuerzas que forman el conjunto de energía electromagnética. Si el componente eléctrico se manifiesta en sentido vertical, el magnético se dibujará 90° a la derecha (Fig. 14-1). Los dos componentes

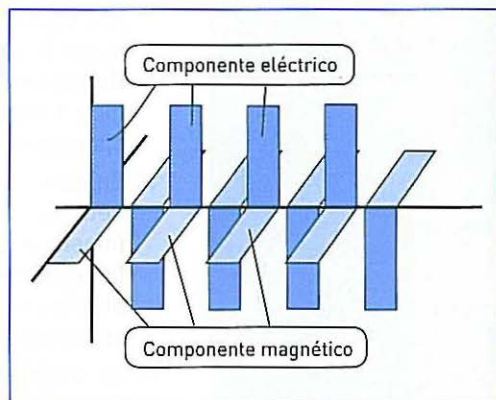


Figura 14-1. Representación de pulsos cuadrados electromagnéticos con su doble componente. Si el componente vertical es el eléctrico, a 90° y en sentido perpendicular, en horizontal se dibuja el componente magnético.

van imbricados entre sí. El campo magnético genera fuerza eléctrica y a la inversa, pero con la condición de que ambos sean campos variables en sus parámetros. El magnetismo continuo (imanes) sólo orienta a los iones. La electricidad electrostática tampoco genera campo magnético de no ser que los electrones, de forma previa, se hallen en movimiento.



Vídeo 14-1. Campo magnético sobre chorro de electrones

Cuando se acerca un campo magnético al organismo, éste provocará influencias en las cargas eléctricas e iónicas del interior corporal. Así, mediante la aplicación de campos magnéticos al organismo, se tratará de producir efectos terapéuticos, que no perniciosos.

Para considerar el magnetismo como un procedimiento terapéutico, debe tenerse en cuenta una serie de circunstancias y observaciones realizadas sobre organismos vivos, unas veces cuando se aplica campo magnético y otras, en ausencia de dicho campo. En principio, se partirá de varios supuestos que hacen pensar en posibles formas de actuación del magnetismo sobre la materia viva:

- La materia viva está compuesta, sobre todo, por multitud de elementos químicos en forma de iones y moléculas ionizadas, es decir,

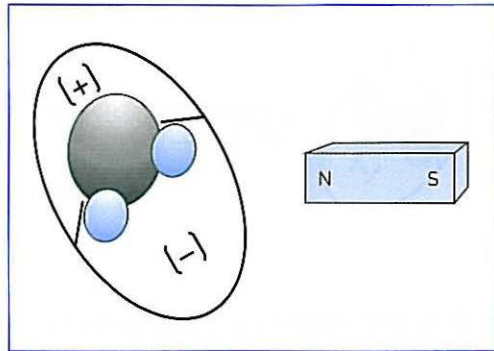


Figura 14-3. El campo magnético es capaz de girar la molécula ionizada.

con carga eléctrica, como una molécula de agua (Fig. 14-2).

- El magnetismo manifiesta efectos y fuerzas que actúan sobre las cargas eléctricas de los iones (Fig. 14-3).
- Cuando se aplica un campo magnético continuo y mantenido con una sustancia que contenga derivados del hierro, los iones de los derivados ferrosos quedan sometidos a concentración en la zona, con independencia del polo magnético, según las líneas de fuerza, proximidad e intensidad del campo magnético (Fig. 14-4).
- Cuando se aplica un campo magnético oscilante o con interrupciones, en el momento del cambio o variación de intensidad

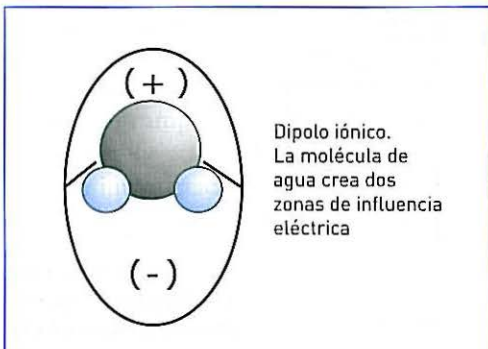


Figura 14-2. Las moléculas ionizadas estarán influidas por el campo magnético.

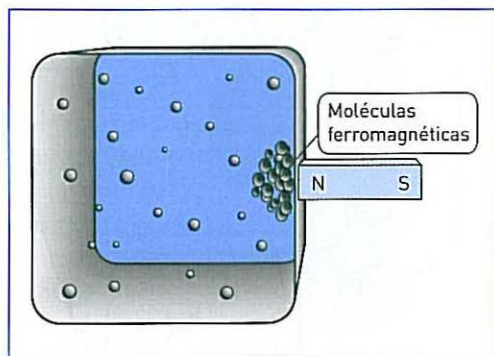


Figura 14-4. Las moléculas con propiedades ferromagnéticas son atraídas por cualquiera de las dos polaridades magnéticas.

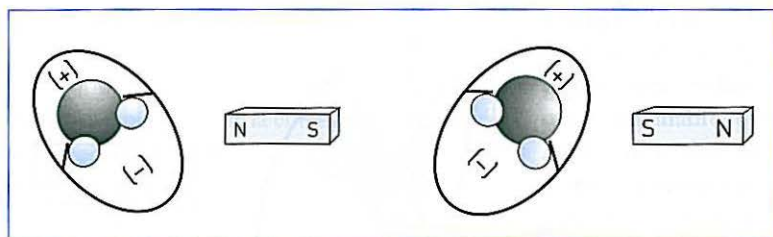


Figura 14-5. El polo N magnético gira la molécula y acerca la polaridad [-]. El polo S atrae al polo eléctrico [+].

del campo magnético se producen sobre la materia reorientaciones y desplazamiento de cargas eléctricas; el norte orienta en un sentido y el sur en el opuesto (Fig. 14-5).

- Las células del organismo están polarizadas, es decir, dentro de ellas existe una carga eléctrica mientras que fuera se encuentra la de signo contrario. La diferencia entre ambas cargas (el llamado umbral de polarización de membrana) está afectado por multitud de influencias químicas, eléctricas, cinéticas, magnéticas, presión osmótica, presión oncótica, etc., sobre las cuales se puede influir o interferir con magnetoterapia (Fig. 14-6). Así pues, si se es capaz de agitar o alterar el ambiente iónico que rodea la célula, se influirá en su nivel de polarización. Obsérvese en la figura que, mientras el giro

del imán se realiza en sentido horizontal, el desplazamiento iónico está alterado en el vertical según la ley de Lorentz.

- No puede olvidarse que los iones dentro de la materia viva se hallan en constante movimiento (movimiento browniano). Por esto, están sometidos a cambios en su trayectoria cuando se introducen en la influencia de un campo magnético, aunque dicho campo sea estático. Esta circunstancia consigue que se acumulen iones de determinada carga eléctrica según si el campo magnético presenta el norte [N] o el sur [S] (Fig. 14-7).

El polo norte desvía hacia sí las cargas negativas [-] mientras que repele los iones de carga positiva [+]. Y a la inversa ocurriría con el polo sur. Esta propiedad se basa en el efecto Hall.

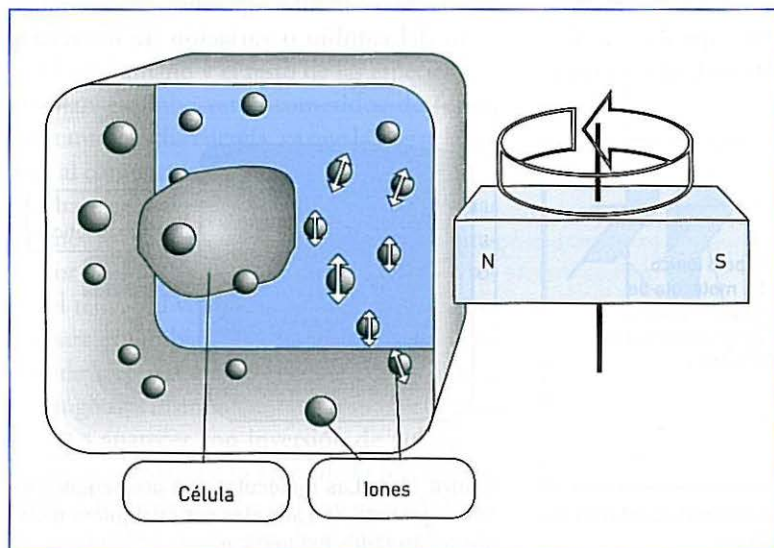
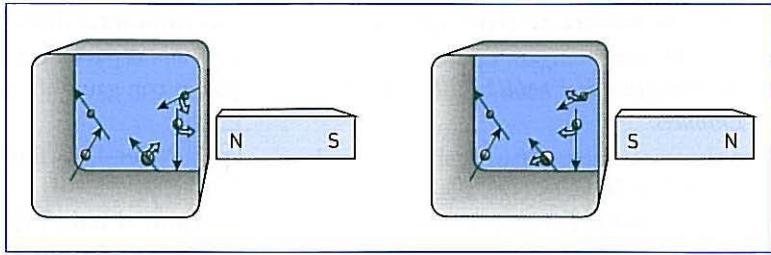


Figura 14-6. El cambio de polaridad magnética provoca un vaivén de iones en sentido perpendicular al giro del campo magnético.

Figura 14-7. El polo N atrae cargas N. El polo S atrae cargas P. Aunque el campo magnético no cambie, los iones están en constante desplazamiento y serán atraídos o repelidos según su polaridad.



Si uno se detiene a observar y analizar estos fenómenos, puede emprender un camino para establecer conclusiones o, cuando menos, comprender cómo el magnetismo puede influir en el organismo.

No están tan claras las formas de aplicar los parámetros de intensidad o fuerza con que el magnetismo actúa sobre las cargas eléctricas e iones del organismo, parámetros que conducirían a formulaciones o afirmaciones observables en las cuales podría basarse toda una técnica fiable y que saque a la profesión del discurso de moda sobre el magnetismo más o menos «científico» en que se halla.

La técnica exploratoria de resonancia nuclear magnética demuestra las influencias que se han citado con anterioridad. Con todo, también crea una importante barrera debido a la gran diferencia de potencias empleadas, ya que en magnetoterapia se usan entre 50 y 100 gauss mientras que en resonancia nuclear magnética se emplean entre 0,5 y 2 teslas (1 tesla [T] = 10.000 gauss [G]).

DOSIFICACIÓN DE MAGNETOTERAPIA

En magnetoterapia, a la hora de dosificar o medir el campo magnético aplicado a los pacientes el fisioterapeuta se halla con dificultades de interpretación de los parámetros por el desacuerdo entre diseños de los aparatos. El campo magnético se puede medir de formas diversas basándose en la intensidad de flujo magnético, el flujo magnético, la densidad de líneas por unidad de superficie, la fuerza magnetomotriz y alguna más.

Además, siguen la nomenclatura del sistema internacional de medidas (SIM) y del sistema cegesimal (CGS).

Por lo general, en los equipos de magnetoterapia se usa la medida de densidad de líneas de fuerza magnética por unidad de superficie, es decir, se miden las líneas que cruzan un plano al cual se le atribuye una superficie, de 1 m² para el tesla (en el SIM o SI) y de 1 cm² para el gauss (en CGS) en 1 s. Esta unidad de medida es relativa porque, si se miden en un solenoide los gauss, los valores leídos en el centro son diferentes a los leídos cerca de la pared interna de la bobina. Esta circunstancia implica que la energía recibida por el paciente no es homogénea y, en general, el fisioterapeuta no se preocupa de estos matices, que son importantes.

Las unidades de flujo magnético son: el weber (Wb) para el SIM y el maxwell (Mx) para el CGS:

- 1 weber/1 m² = 1 tesla.
- 1 maxwell/1 cm² = 1 gauss.
- 1 weber = 1 maxwell × 10⁻⁸.

Hay aparatos que solicitan el ajuste en gauss y otros en militeslas, y el problema surge con la consiguiente confusión en la equivalencia entre ambos sistemas, es decir:

- Supóngase 1 gauss en 1 cm² (CGS).
- Supóngase 1 tesla en 1 m² (SIM).
- 1 m² = 100 × 100 cm² = 10.000 cm².
- Así pues, 1 tesla es 10.000 veces mayor que 1 gauss.

- De esta manera se tiene que: $1 \text{ tesla} = 10.000 \text{ gauss}$.
- $10.000 \text{ gauss de } 1 \text{ tesla} / 1.000 = 10 \text{ gauss}$.
- Entonces:

- $1 \text{ mT} = 10 \text{ G}$.
- $1 \text{ G} = 0,1 \text{ mT}$.

Como ya se sabe, los militeslas son diez veces mayores que los gauss. Para convertir un valor al otro se llevará a cabo de la siguiente manera:

- $G/10 = mT$.
- $mT \times 10 = G$.

Nunca debe olvidarse que los múltiplos y divisores del tesla están en relación con el metro cuadrado en tanto que los múltiplos y divisores del gauss están en relación con el centímetro cuadrado [Fig. 14-8].

Además, no es lo mismo medir los gauss en un pico u onda que pueda durar 10 ms que los gauss eficaces si se tiene en cuenta el número de pulsos magnéticos por segundo o los gauss de un campo magnético continuo.

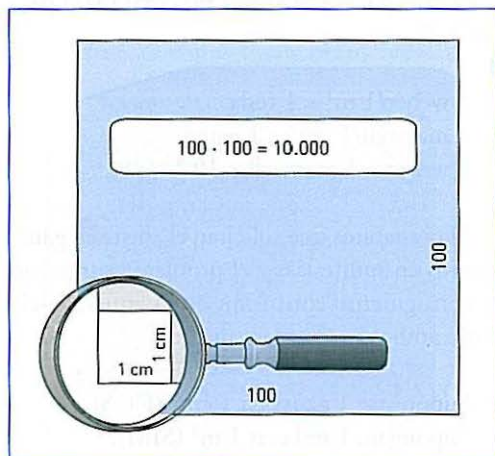


Figura 14-8. Los teslas se miden sobre m^2 . Los gauss se miden sobre cm^2 . 1 tesla es 10.000 veces mayor que 1 gauss.

Los fabricantes debieran informar de esta circunstancia para saber si se trabaja con gauss de pico o con gauss eficaces.



Vídeo 13-3. Ratio pulso-reposo

Tanto el tesla (T) como el gauss (G) son medidas de densidad de líneas magnéticas por unidad de superficie, pero en la práctica no son parámetros homogéneos, pues si se aplica una bobina o un imán, se obtendrán zonas de máxima densidad y otras donde decae de forma progresiva la influencia magnética. Es importante tenerlo en cuenta cuando se fijan los diferentes aplicadores magnéticos al organismo.

Para comprender mejor la diferencia entre distintas medidas, hay que suponer que se enfrentan dos imanes de distinto tamaño, pero de igual fuerza o flujo magnético (Fig. 14-9) medido en maxwells. Ambos están separados por hojas de papel que contienen limaduras de hierro. Se observa cómo las limaduras del plano superior aparecen más concentradas (en G) que las del plano inferior. Se concluye que es distinta la fuerza magnética que la concentración de líneas magnéticas aunque lo habitual es que ambos parámetros tiendan a ser directamente proporcionales, pero frecuentemente, debido a la forma de los generadores magnéticos y al comportamiento magnético del medio, las líneas de fuerza se hallan más o menos concentradas. No puede olvidarse esta circunstancia en los tratamientos, sobre todo a la hora de aproximar la fuente magnética al paciente.

Dado que los campos magnéticos pulsados y oscilantes o alternos provocan desplazamientos de cargas eléctricas, la medida debería realizarse de acuerdo con las cargas eléctricas que es capaz de desplazar dicho campo magnético oscilante o dinámico, cargas contenidas en la materia que se encuentra dentro del campo (Fig. 14-10).

La magnetoterapia que se aplica al organismo humano está muy relacionada con las bobinas de inducción electromagnética y con las influencias sobre las referidas cargas ióni-

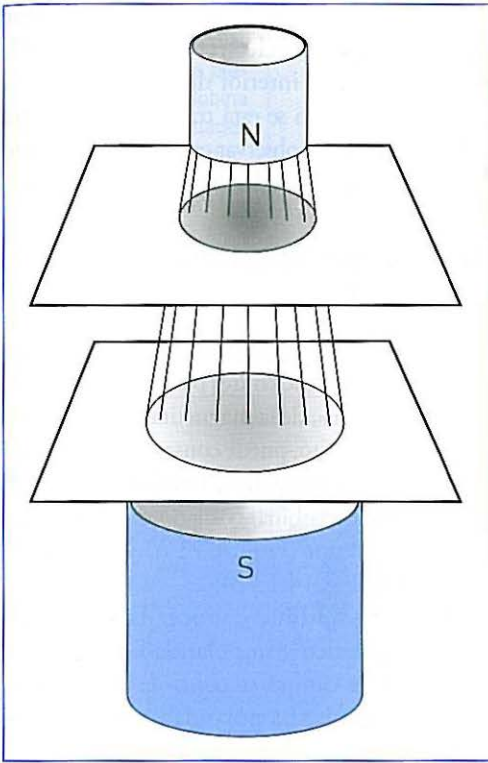


Figura 14-9. Esquema para explicar el concepto de densidad de líneas entre dos imanes de la misma fuerza, pero de distinto tamaño. La densidad de líneas es mayor cerca del pequeño que cerca del grande. En el plano cercano al pequeño se medirán más gauss que en el plano cercano al grande.

cas del organismo. Por ello, también interesan medidas de la fuerza magnetomotriz e intensidad del flujo magnético:

- La unidad de la fuerza magnetomotriz es el amperio-vuelta (Av) en el SIM.
- La unidad de intensidad de campo magnético es el amperio-metro (A/m) en el SIM y el oersted (Oe) en el CGS.

Según la **figura 14-10** puede comprenderse cómo el campo magnético genera y produce desplazamiento en las cargas eléctricas de los conductores (o dentro del cuerpo humano). Sin embargo, el efecto electromagnético se completa porque el desplazamiento de cargas eléctricas también genera campo magnético alrededor de un conductor (es mejor si está bobinado). De esta forma puede medirse la intensidad de campo magnético generada en el centro de una espira de 2 cm de diámetro y por cuyo conductor circula 1 A, medición que conduce a establecer la unidad de intensidad magnética, denominada oersted (**Fig. 14-11**).

El oersted (Oe) equivale a 79,577 A/m del *SIM*. Asimismo, si 1 Oe se multiplica por la permeabilidad magnética del vacío, el resultado es 0,1 mT en el *SIM* o 1 G en el CGS.

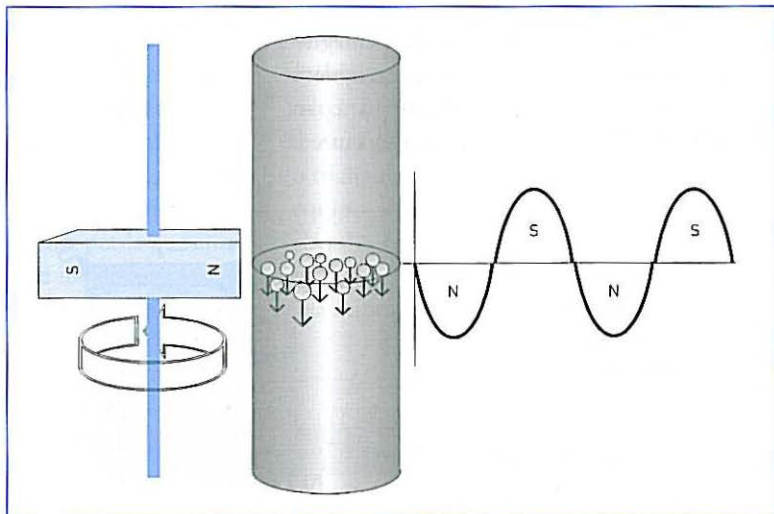


Figura 14-10. La alternancia de un campo magnético, junto a un conductor eléctrico, genera de forma espontánea desplazamientos de cargas eléctricas en su interior que estaban en reposo.

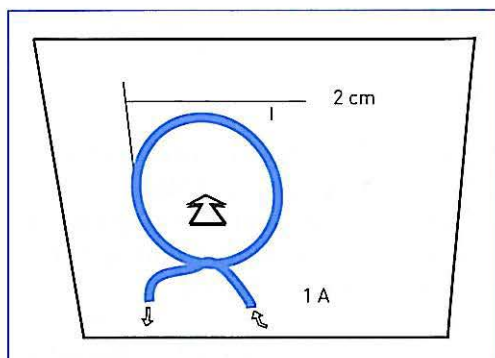


Figura 14-11. El oersted es la intensidad de campo magnético que se genera en el centro de una espira por la que circula 1 A y cuyo diámetro es de 2 cm.

A modo de curiosidad y dado que se aplicará la magnetoterapia mediante bobinas o solenoides que producen campo magnético, previamente generado por energía eléctrica que circula por dichas bobinas, podrá establecerse una fórmula genérica que permita calcular la intensidad de campo magnético en cualquier bobina, en este caso para corriente continua (o la que se denomina como corriente galvánica):

$$I \text{ de campo magnético (en Oe)} = \frac{\text{Número de espiras} \cdot I \text{ (en A)}}{\text{Diámetro de la bobina (en cm)}}$$

En definitiva, la dosificación de la magnetoterapia es compleja y requiere un establecimiento claro de la unidad que se empleará para su medición. Además, no es tan importante la

energía magnética generada por el aplicador como las respuestas eléctricas o electroquímicas causadas en el interior del organismo.

Por el momento se está trabajando de forma empírica y a base de observar resultados no siempre claros o, incluso, contradictorios con lo esperado.

GENERACIÓN DE CAMPOS MAGNÉTICOS

El magnetismo en la naturaleza es permanente y procede del núcleo del planeta o, de forma «portátil y móvil», de la magnetita. Sin embargo, como se ha descrito, puede conseguirse mediante el efecto electromagnético. Fundamentalmente hay dos tipos de bobinas o solenoides: solenoides de campo interior (Fig. 14-12 A) y bobinas de proximidad (Fig. 14-12 B).

Es imprescindible conocer la fuerza del campo magnético y su polaridad. La fuerza o intensidad de campo se controla mediante la anterior fórmula. La polaridad se puede averiguar con ayuda de imanes naturales y fijos, previamente marcados con norte (N) y sur (S), o por la ley de la mano izquierda.

Si se conoce la polaridad de un imán y se sabe que las líneas de fuerza magnética emergen del N y vuelven al S, por el exterior del solenoide, en el interior irán de S a N (Fig. 14-13 A) siempre que el campo sea continuo o pulsado con polaridad. En campo alterno, no se detectará debido a su constante cambio.

En los solenoides planos basta con acercar el imán y éste se situará con el polo contrario al de

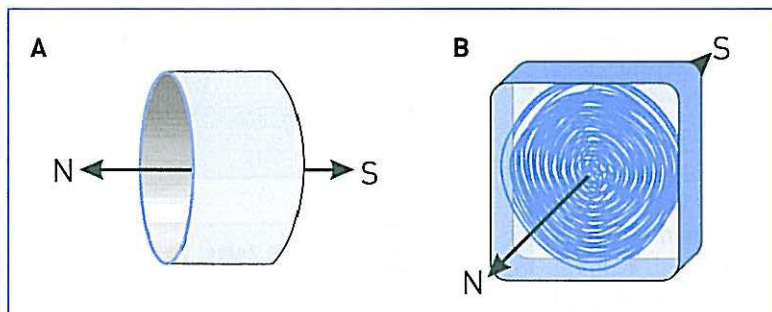


Figura 14-12. A) Solenoide hueco para introducir el segmento corporal que debe tratarse. B) Bobina plana para aproximar una de sus caras a la zona tratada.

Figura 14-13. A) Solenoide hueco con sus polaridades en las caras planas del cilindro. B) Bobina plana con sus polaridades en las caras de contacto.

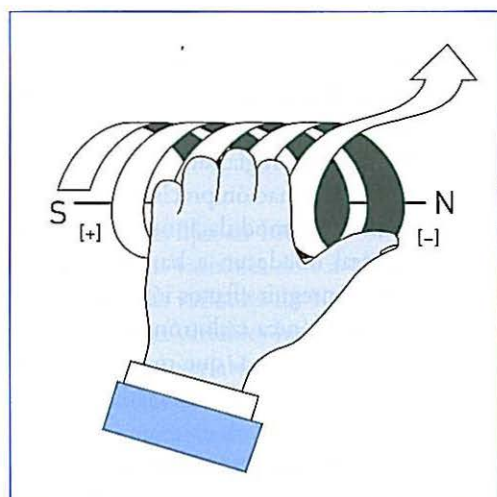
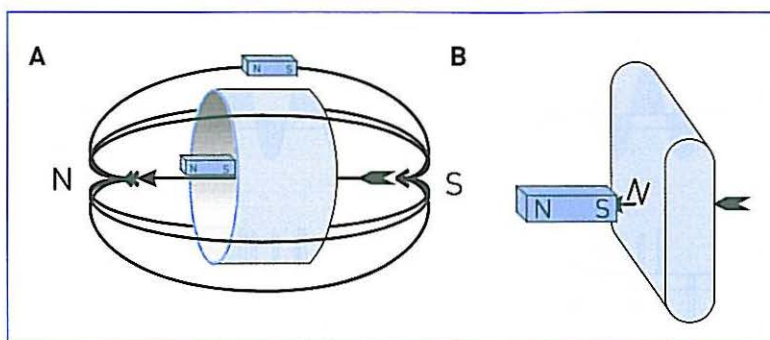


Figura 14-14. La ley de la mano izquierda para la bobina indica que el primer dedo señala el polo N si la corriente sigue el sentido de los otros cuatro dedos. Se considera que la corriente va de [-] a [+].

la bobina, por lo que hay que leer el opuesto del que se adhiere a ésta (Fig. 14-13 B).

La ley de la mano izquierda (Fig. 14-14) consiste en considerar los cuatro últimos dedos como las vueltas de una bobina por la que entra la corriente desde la raíz de los dedos hacia la punta. Así, el primer dedo indicaría el polo N

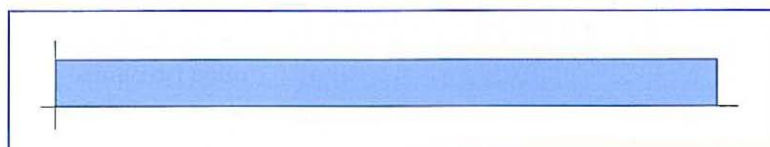
o sentido de las líneas de fuerza. Lógicamente, esto ocurre si se da como bueno el hecho de que la corriente se desplaza desde [-] hasta [+]. En sentido contrario se haría referencia a la ley de la mano derecha, como habitualmente se la suele encontrar en la física donde obedece a la «norma por convenio». Sin embargo, en fisioterapia debe considerarse el sentido real y no el de convenio.

Formas de los pulsos magnéticos

En magnetoterapia suele aplicarse diversidad de formas en cuanto a campo continuo, alterno y pulsado. El campo continuo se comporta de igual manera que un imán clásico. Mantiene siempre la misma polaridad (N-S; Fig. 14-15). Si procede de una bobina o solenoide está generado por la corriente continua.

El campo alterno se compone de ondas sinusoidales positivas y negativas (Fig. 14-16) salvo en pequeños equipos alimentados por baterías, donde es más fácil lograr ondas cuadradas o triangulares cortas que sinusoidales largas. Los equipos de sobremesa alimentados con la red eléctrica en general aportan esta forma de onda. La polaridad N-S cambia de manera constante a la misma frecuencia que las ondas eléctricas.

Figura 14-15. La aplicación de campo continuo mantiene siempre la misma polaridad sin interrupciones.



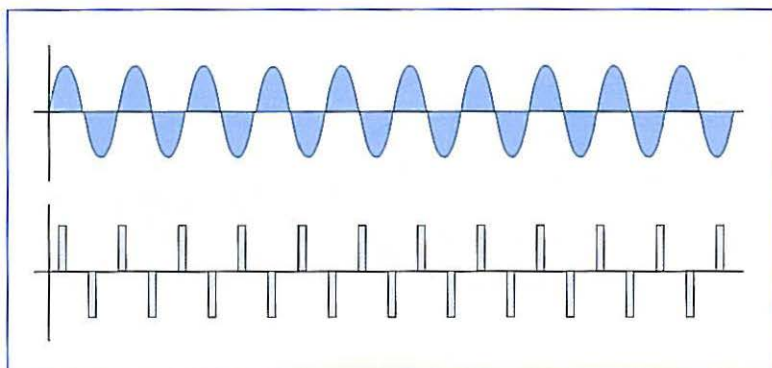


Figura 14-16. Las ondas alternas en su mayoría son sinusoidales en los equipos de sobremesa, aunque pueden ser cuadrangulares o presentar otras formas, como en los alimentados por baterías.

Los campos pulsados pueden estar compuestos por pulsos cuadrangulares, sinusoidales o triangulares, pero mantienen siempre la misma polaridad durante el tiempo de la sesión (Fig. 14-17). Suelen aplicarse en diferentes frecuencias.

Además, algunos equipos añaden la posibilidad de aplicar las modalidades de corriente alterna o pulsada de forma continuada o con modulaciones en ráfagas, modulaciones en frecuencia y otros tipos de modulaciones. Estas variaciones, en general, no se ajustan a parámetros establecidos de forma previa y, de forma anárquica, cada fabricante diseña aquello que considera más apropiado (Fig. 14-18). Un problema que plantean estas modulaciones consiste en que el cálculo de la energía real o eficaz que se le aplica al paciente se vuelve muy complejo. Con las otras modalidades,

si se conocen las variables, pueden aplicarse cálculos para obtener parámetros fiables a la hora de dosificar, pero las modulaciones rompen posibles metodologías de cálculo (a no ser que se aporte información precisa al respecto).

En cuanto a las modulaciones en frecuencia, en general obedecen a barridos de frecuencia para conseguir efectos iónicos basados en la resonancia iónica cyclotrónica y en la resonancia iónica eléctrica, que más adelante se describe.

Frecuencia de la magnetoterapia

En caso de modo alterno o pulsado, se encuentra una gran diversidad en las frecuencias empleadas:

- Frecuencias fijas en 20 Hz.
- Frecuencias fijas en 50 Hz.

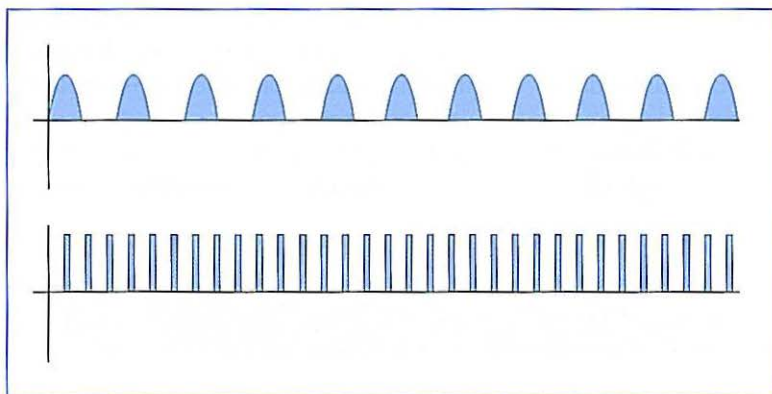
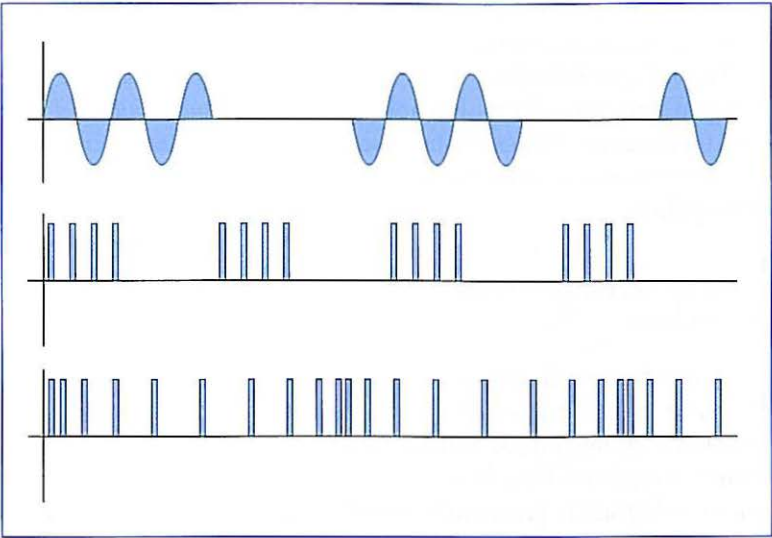


Figura 14-17. Las ondas pulsadas monofásicas siempre mantienen la misma polaridad de N-S.

Figura 14-18. Algunos ejemplos de modulaciones aplicadas sobre ondas pulsadas o sobre ondas alternas.



- Frecuencias fijas en 100 Hz.
- Frecuencias variables de 1 a 100 Hz.
- Frecuencias variables de 50 a 100 Hz.
- Frecuencias variables hasta 500 Hz.
- Frecuencias variables hasta 2.000 Hz.
- Frecuencias variables hasta 5.000 Hz.
- Magnetoterapia de alta frecuencia mediante el uso de una portadora de kHz o MHz, etcétera.

Dependiendo del enfoque o teoría aplicada, los efectos biológicos pueden ser diferentes en función de la frecuencia ajustada. Si se considera o se pretende seguir las teorías de la resonancia iónica ciclotrónica, se trabajará con unas frecuencias concretas de acuerdo con la **tabla 14-1**.

Si se pretende aplicar más o menos efecto magnético, la frecuencia incide de forma directa, de manera que a mayor frecuencia más energía y viceversa, según la fórmula:

$$Ga_{ef} = Ga_p \cdot t_p \cdot F_{Hz} \cdot 1$$

Los gauss eficaces son igual al producto de gauss de pico o de pulso por tiempo del pulso en segundos, por frecuencia en hercios y por 1 s. Siempre que la forma de pulso sea cuadrada

Tabla 14-1. Relación carga/masa y frecuencia de resonancia ciclotrónica de algunos iones

Ion	Relación carga/masa (en C/kg por 10 ⁷)	Frecuencia de resonancia iónica ciclotrónica (en Hz con 5 G)
H ⁺	0,99	760
OH ⁻	0,567	45,1
OH ³⁺	0,507	40,3
P ⁵⁻	2,460	195,6
PO ₄ ³⁻	0,346	27,5
Li ⁺	0,14	110
Mg ²⁺	0,082	61,5
Ca ²⁺	0,050	38,7
Na ⁺	0,043	33,3
Fe ²⁺	0,036	27,9
Zn ²⁺	0,031	23,4
K ²⁺	0,026	19,6
Sr ²⁺	0,023	17,3
Rb ²⁺	0,012	9,0

porque, si es otra distinta a la cuadrada, a la fórmula se le agrega otra variable del factor forma (v. «Factor forma del pulso», en el cap. 3).

Según esto, no es lo mismo aplicar 50 G con 10 Hz que con 80 Hz. No hay que olvidar que se necesita conocer la anchura y la forma de los pulsos.

Teoría de la resonancia iónica ciclotrónica

Se considera que el campo magnético consigue poner en resonancia o en agitación iónica (circular) a los iones o moléculas ionizadas en el interior orgánico. Estas frecuencias de «resonancia ciclotrónica» provocan aumento de la actividad de dichos iones con la consiguiente mejora de la actividad electroquímica del medio. Dependen de varios factores, como su carga, su masa, la fuerza magnética aplicada, la libertad iónica y los enlaces en que se encuentre el ion.

Estas frecuencias de resonancia se producen de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$F_{\text{ciclot}} = (1/2\pi) (B_T) (q/m)$$

Siendo: B = densidad de campo magnético en teslas; q = carga eléctrica en culombios por 10^{-19} , y m = carga eléctrica en kg por 10^{-26} .

En la tabla 14-1 se pueden observar de forma resumida las frecuencias de algunos iones o compuestos iónicos frente a la densidad magnética de 5 G (0,5 mT).

Si los iones no se encuentran aislados o limpios y están asociados o hidrolizados por el agua, las frecuencias señaladas en la tabla prácticamente se reducen a la mitad.

Por el hecho de que no es fácil conocer el punto de resonancia de los iones sobre los cuales se pretende influir, suelen establecerse aplicaciones con barridos de frecuencia entre dos valores establecidos, para que al menos durante las pasadas, al aumentar y disminuir la frecuen-

cia, se esté seguro de que se consigue estimular el ion pretendido en ciertos momentos.

Estos datos se han tomado del libro *Aplicaciones clínicas del biomagnetismo* del Dr. Antonio Madroñero de la Cal.

Algunos equipos que se han diseñado para esta modalidad de magnetoterapia contienen varias bobinas en el mismo solenoide (Fig. 14-19) para intentar estimular varios iones de manera simultánea. Sin embargo, cada bobina se mueve con barridos que abarcan diferentes frecuencias (Fig. 14-20).

Un ejemplo típico puede ser un programa destinado a la regeneración ósea en los retrasos de consolidación, que se ajuste en tres bobinas diferentes, con sus tres barridos correspondientes y que oscilen alrededor de 38,2 Hz para estimular el Ca^{2+} , en la segunda 27,5 Hz para estimular el PO_4^{3-} y en la tercera 95,1 Hz para activar la molécula OH^- .

Otras características de este sistema son las siguientes:

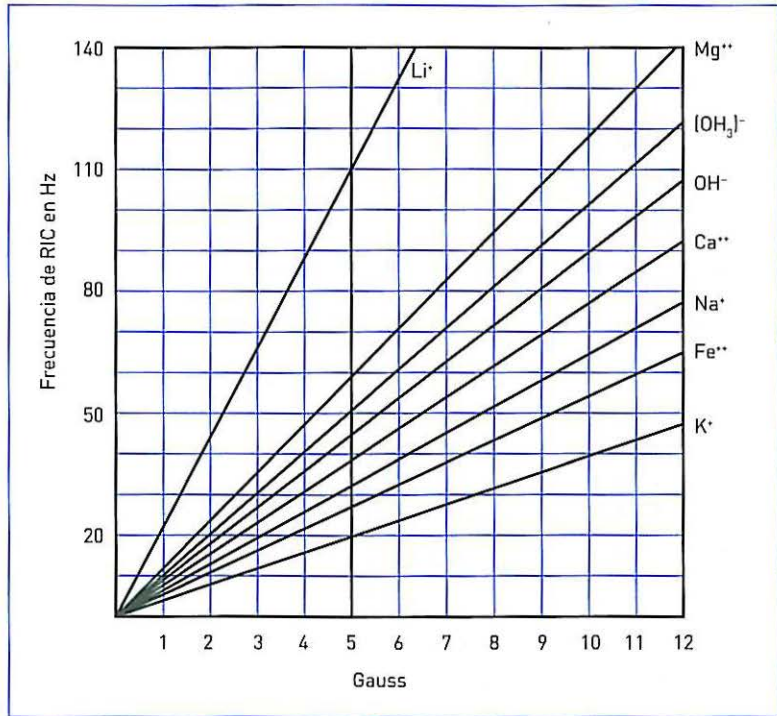
- Los campos magnéticos son débiles comparados con otros modos de magnetoterapia (5 G es un valor típico).
- Se aplican ondas pulsadas, triangulares o cuadradas con polaridad alterna.
- El cambio en el gradiente de campo magnético es lo fundamental (Fig. 14-21).

Regulación de energía aplicada

La forma más frecuente de la regulación energética en magnetoterapia es en gauss y los fabricantes tienden a establecer un límite máximo de 100 G (aunque algunos lo hacen en mT). Se pueden observar ciertos equipos con límite en 150 o 200 G (Fig. 14-22). Es importante conocer si la fuerza regulada se refiere a campo continuo o al pulsado, pues en éste la energía eficaz se reduce de forma considerable.

Los manuales de manejo y utilidad no suelen informar, salvo alguna excepción, sobre

Figura 14-19. Respuesta de resonancia iónica ciclotrónica (RIC) de algunos iones o compuestos ionizados dentro del organismo en función del campo magnético aplicado. Los valores de 5 G se indican en la tabla 14-1.



polaridad, frecuencias, forma de onda, fuerza magnética a diferentes distancias de la bobina, fuerza eficaz, fuerza de pico o por pulsos, etcétera.

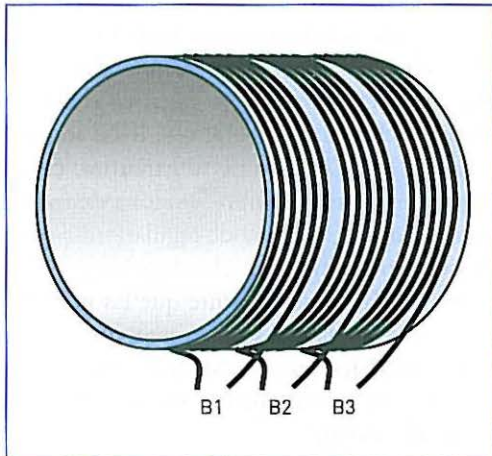


Figura 14-20. Solenoide con tres bobinas (B1, B2 y B3) diferentes para que cada una genere sus frecuencias específicas.

Las bobinas o solenoides no suministran un campo homogéneo en su densidad de líneas, pues cuanto más cerca de la bobina se tomen las medidas, mayor será el valor leído debido a la concentración de líneas de fuerza (Fig. 14-23). Así pues, en las aplicaciones se buscará la máxima cercanía o proximidad entre el organismo y la bobina. La concavidad provoca concentración de líneas, en tanto que en la convexidad tienden a dispersarse. Por esto, se introducirá el segmento corporal que debe tratarse en la bobina cerca de la pared (no en el centro).

En las bobinas planas, si sus dimensiones se calcularon de forma adecuada, se puede concentrar el máximo efecto en el centro de la bobina (Fig. 14-24) o conseguir un reparto homogéneo. Por ello, se fabrican en dos partes que se enfrentan una a la otra, se envuelve el sector corporal que debe tratarse entre ambas y de polaridad opuesta para que las líneas de fuerza crucen al organismo con la máxima eficacia. Muchas se fabrican con capacidad de

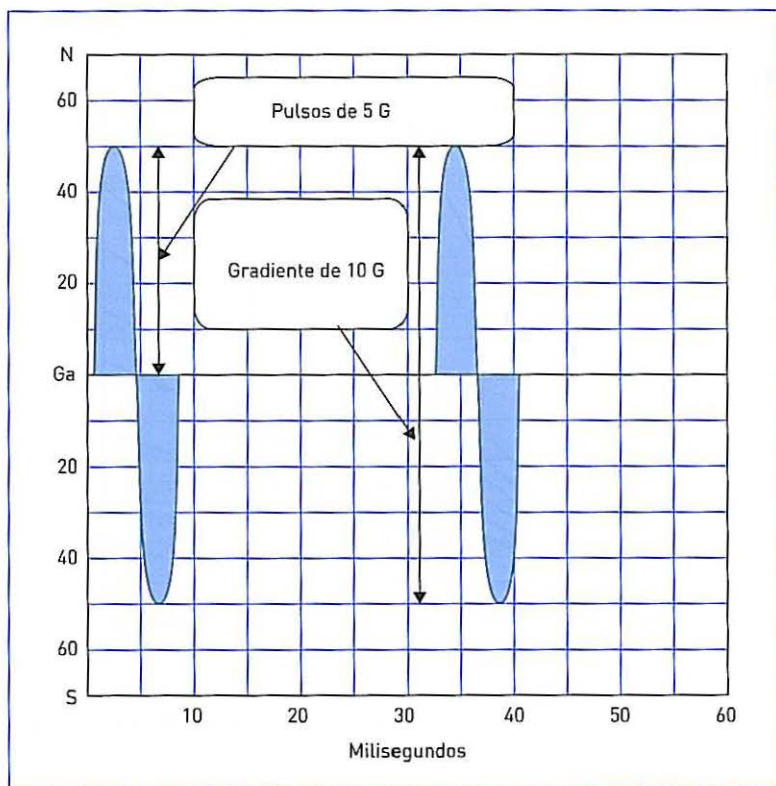


Figura 14-21. Campos alternos formados por pulsos de 5 G que generan un gradiente de cambio de 10 G.

deformación y cierta adaptación a las curvaturas corporales. Dependiendo del diseño, pueden encontrarse enlazadas en serie formando una pareja que se debe aplicar de forma con-

junta o independiente para aplicar una, dos o más, de acuerdo con las salidas del equipo.

Para trabajar seguros de su influencia, debería disponerse de un medidor de gauss para introducirlo o aproximarlo a las bobinas y saber realmente los gauss aplicados o los gauss que circularán en el mismo lugar en el cual se colocará el sector corporal que debe tratarse (Fig. 14-25). El gaussímetro garantiza, cuando menos, que el equipo funciona de forma correcta o que la forma de regularlo depende de la lectura directa en el solenoide y no de la teórica. Es muy frecuente que las medidas teóricas reguladas no se correspondan con las reales, más bien las coincidencias son escasas, pues es una circunstancia comprobada en la realidad cotidiana.

No obstante, es insuficiente conocer los gauss que circulan por el tejido vivo. Es necesario conocer la influencia electroquímica con-



Figura 14-22. Equipo de magnetoterapia destinado a la regeneración ósea en retardos de consolidación con campos monofásicos y pulsados, entre 150 y 200 G.

Figura 14-23. La concavidad concentra las líneas de fuerza. En el centro hay menos gauss que cerca de la pared interior.

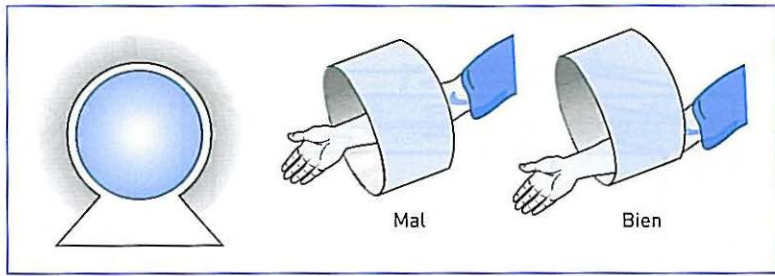
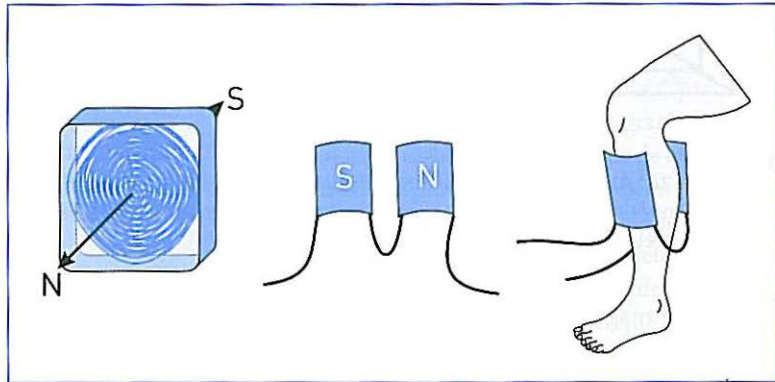


Figura 14-24. Las bobinas planas presentan muchas formas. Una de ellas es el diseño de dos bobinas en serie para una aplicación contra-lateral.



seguida en las disoluciones y dispersiones orgánicas, con las respectivas cantidades de gauss.

Con la alta frecuencia térmica, se parte de la referencia básica en la que el paciente detecta sensación térmica; al reducir un punto

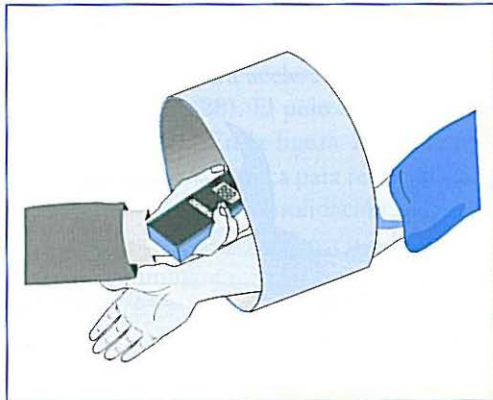


Figura 14-25. Las medidas realizadas en las bobinas o solenoides normalmente no coinciden con las ajustadas en el equipo. Es importante saber la energía realmente aplicada midiéndola con un gaussímetro.

la potencia aplicada, desaparece la percepción térmica y se encuentra al límite del grado I, justo antes del grado II.

Con la magnetoterapia no se genera percepción térmica y, por ello, no se sabe si se está muy distante de dicho límite, si se está precisamente antes, si la energía aplicada es tan mínima que ni tan siquiera estimula el sistema o si se satura el sistema. Esta cantidad de dudas requiere ser resuelta con una metodología más fiable o perceptible y no con estadísticas que generan multitud de errores en planteamientos básicos.

Tal vez se pueda argüir que los mecanismos de actuación entre la magnetoterapia y la alta frecuencia son distintos, hasta cierto punto, pues la termoterapia profunda de alta frecuencia desencadena el sistema de termorregulación en tanto que la magnetoterapia no alcanza este nivel. Con todo, siempre que se aporte energía y se aumente el movimiento browniano, se generará calor aunque no tanto como para desencadenar los sistemas de termorregulación. En sesiones largas (con ciertos

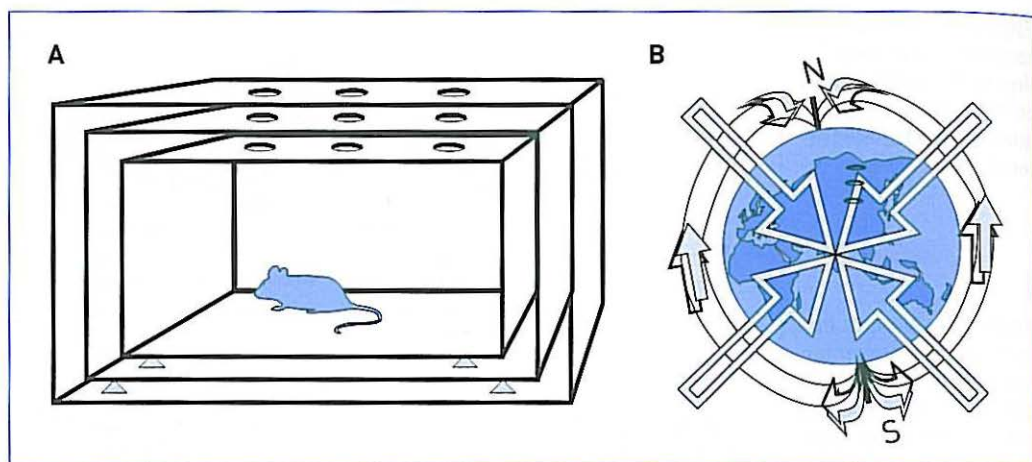


Figura 14-26. A) Jaulas de hierro concéntricas para realizar experimentación con animales evitando el campo magnético terrestre. B) Esquema de las fuerzas magnéticas terrestres y de las fuerzas gravitatorias hacia el centro del planeta.

equipos de magnetoterapia), hacia el final de la sesión los pacientes llegan a manifestar la percepción de leve calor.

Debe esperarse más en orden a los resultados de las experimentaciones y teorías circulantes al respecto, tanto procedentes de la ausencia del campo magnético al introducir animales en jaulas magnéticas (formadas por cajas de hierro concéntricas; Fig. 14-26 A) como procedentes de la influencia sobre la hemoglobina o del efecto piezoeléctrico en el hueso.

Dado que se especula en exceso sobre los efectos positivos de los campos electromagnéticos y los perniciosos de los mismos campos, deben esperarse resultados más precisos y no confundir la energía magnética con la de gravitación. El magnetismo se halla con sus líneas de fuerza paralelas a la superficie terrestre (sin considerar la declinación) mientras que la fuerza de gravitación se representa como líneas que se dirigen al centro del planeta y, en consecuencia, perpendiculares a la superficie (Fig. 14-26 B).

Esta discrepancia es importante porque no es raro encontrar publicaciones en las cuales no queda clara la diferenciación entre campo magnético y campo gravitatorio, terrestres ambos, sobre todo cuando se comentan ob-

servaciones sobre astronautas que se alejaron de la superficie terrestre.

Piezolectricidad del hueso

Se considera que el hueso dirige y regula su forma y estructura a base de la autogeneración de descargas eléctricas (piezolectricidad) que crea un ambiente de electronegatividad $[-]$ o electropositividad $[+]$ cuando se deforma (Fig. 14-27), de tal manera que en la concavidad

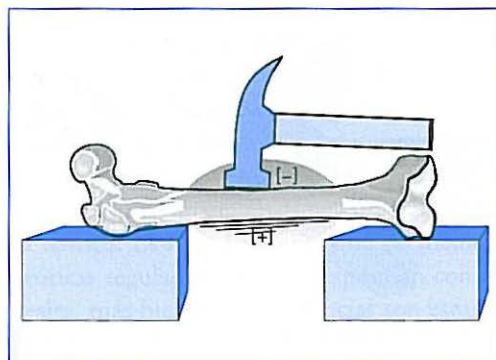


Figura 14-27. La deformación del tejido óseo provoca cargas eléctricas $[-]$ en la zona de concavidad y cargas $[+]$ en la convexidad por efecto de piezolectricidad.

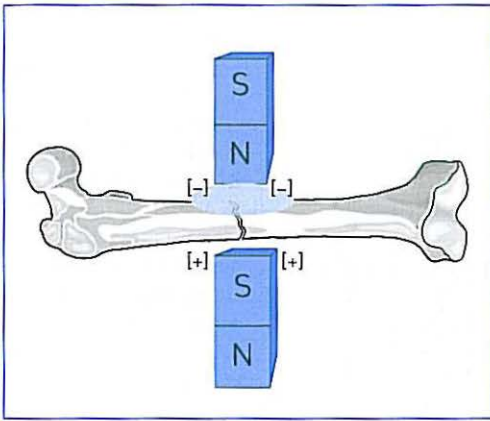


Figura 14-28. El polo N magnético genera cargas [-] y estímulo de los osteoblastos. El polo S genera cargas [+] y estimula los osteoclastos.

aparecen las negativas [-] y en la convexidad las positivas [+]. Se afirma que en las zonas de electronegatividad tiende a proliferar la regeneración ósea (por estímulo de los osteoblastos), en tanto que en las de convexidad desaparece el tejido óseo (por estímulo de los osteoclastos).

Al magnetismo se le atribuye un efecto de regeneración ósea cuando se consigue suficiente electronegatividad en las proximidades de una zona afectada por retraso de consolidación ósea. Para ello, al basarse en el efecto Hall, se aplicarían dos bobinas polarizadas de forma que el polo N consiga la electronegatividad suficiente como para acelerar el crecimiento del callo (Fig. 14-28). El polo S provocaría la destrucción ósea. En la figura 14-22 se presenta una aplicación típica para recalcificación ósea en un retraso de consolidación.

Asimismo, mediante la carga procedente del apoyo sobre un fémur, en las concavidades tendería a reforzarse el hueso y a disminuir su volumen por las convexidades, siempre que la elasticidad de las trabéculas del callo tolere el apoyo, pero si éstas se fuerzan o se desgarran por el apoyo se alterará el mecanismo de apoyo precoz.

Faradizar la musculatura de la zona con electroestimulación de baja frecuencia o media frecuencia para conseguir la contracción muscular

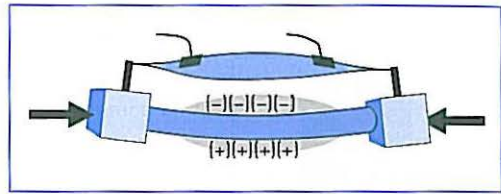


Figura 14-29. La contracción muscular activa la piezoelectricidad ósea y genera cargas eléctricas [+] y [-] que modulan la forma ósea y estimulan la recalcificación de fracturas.

en forma de ráfagas o trenes cortos, pero suficientemente intensos, también logrará que proliferen los osteoblastos generadores de hueso en la concavidad provocada por la tensión muscular, ya que ésta actúa a modo de «cuerda de arco». Esta técnica provoca en el huso deformaciones que afectan su forma y aumentos de presión sobre los callos de osificación, lo que favorece su aceleración en la consolidación (Fig. 14-29). Este enfoque es más demostrable que la posible influencia de la magnetoterapia.

En las fracturas de calcáneo, astrágalo, cuñas, escafoides y metatarsianos es muy importante provocar respuestas motoras en la musculatura intrínseca de la planta del pie, con corrientes farádicas y de forma precoz, para evitar procesos de Sudeck, acelerar la regeneración del callo y mantener la circulación sanguínea y linfática en correcto funcionamiento.

Efecto Hall

Se está haciendo referencia al efecto Hall por la influencia que posee el campo magnético sobre las cargas eléctricas. Puede explicarse con el siguiente experimento:

- Se hace pasar una corriente continua (galvánica) por un conductor ancho y circular, que forma un cilindro perfecto a lo largo de su altura, tras haber aplicado dos electrodos en sus caras planas y conseguir que éstos permanezcan conectados a un generador con sus correspondientes polo [-] y [+].

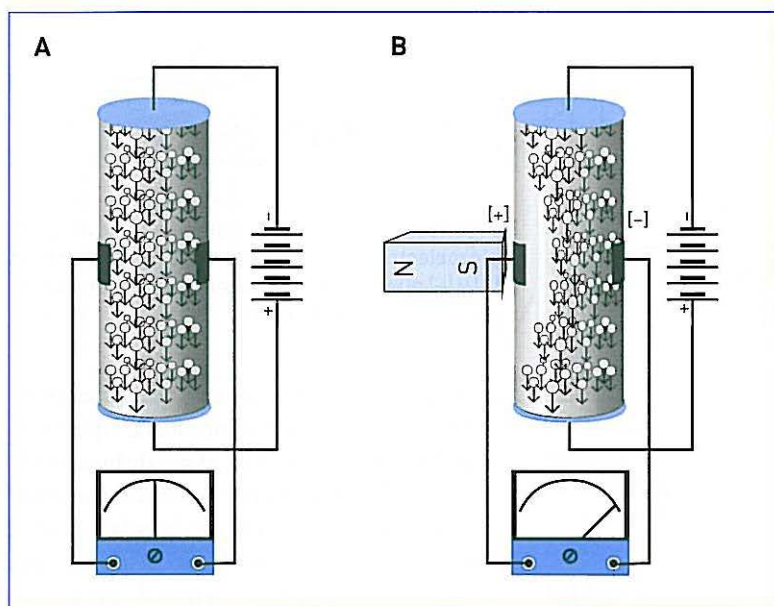


Figura 14-30. A) Circulan cargas eléctricas en sentido descendente que no generan diferencias de concentración en los electrodos laterales. B) Se pone de manifiesto el efecto Hall porque las cargas eléctricas son desviadas por la influencia magnética. S genera carga $[+]$, N genera carga $[-]$ que se refleja en el voltímetro.

Después se fijarán dos nuevos electrodos detectores en las caras circulares, en su recorrido medio y uno frente al otro. Los dos últimos se conectan a un voltímetro (con 0 central) para que detecte si se muestra alguna diferencia de potencial entre ambos lados del conductor y es de esperar que indique la misma cantidad de cargas en ambos lados, con lo que la aguja se mantendrá centrada. Esto es normal según se puede apreciar en la [figura 14-30 A](#).

- Pero si se acerca un imán al conductor próximo a uno de los electrodos detectores y laterales ([Fig. 14-30 B](#)) podrá observarse cómo la aguja del voltímetro se desplaza en algún sentido. Ello se debe al hecho de que las líneas de fuerza magnética desplazan a los electrones hacia el otro lateral siempre que el polo sea el S en tanto que el N los atraerá. A modo de regla mnemotécnica, puede afirmarse que N de polo norte tiende a asociarse con N de negativo de las cargas eléctricas.

En este fenómeno se apoyaría la imanoterapia o aplicación de imanes sobre determinadas zonas, *en que al polo N se le asigna la polaridad eléctrica $[+]$ (porque en su proximidad genera electronegatividad) y al polo S, la polaridad $[-]$ por generar electropositividad* (v. «Efectos galvánicos polares», en el cap. 5). Por ello, se aplicará el polo N sobre los procesos agudos y el polo S en los crónicos. Asimismo, en los retrasos de consolidación, se aproximará el polo N al foco de fractura con retraso de consolidación, pues este polo generará la electronegatividad pretendida.

Las mejores aplicaciones de imanoterapia se realizan mediante control y test de kinesiología aplicada.

Equipo de magnetoterapia

Un equipo de magnetoterapia debe consistir en:

- Un generador de corriente aplicada a las bobinas o solenoides ([Fig. 14-31](#)).



Vídeo 14-2. Efecto Hall

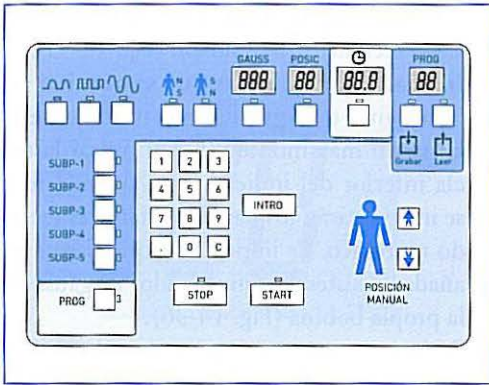


Figura 14-31. Panel de control, de ajustes y de dosificación en un posible generador de campos magnéticos.

- Varias bobinas o solenoides intercambiables de distinto tamaño y método de aplicación, tanto las de solenoide como las de aplicación directa.
- Camilla con un solenoide grande, diseñada de tal forma que permita el deslizamiento a distintos niveles y barridos corporales del solenoide (Fig. 14-32).

Dependiendo de qué efectos biológicos se deseen conseguir y que metodología de tratamiento se pretenda utilizar, en el panel de control debería disponerse, cuando menos, de las siguientes condiciones (Fig. 14-31):

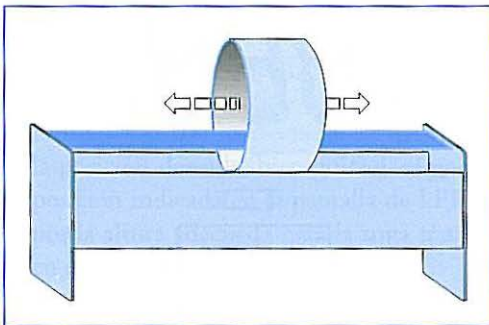


Figura 14-32. Mesa con solenoide desplazable para magnetoterapia, destinado a tratamientos de cuerpo completo o zonas delimitadas, en modo fijo o en barridos.

- Activación de programas y subprogramas. Antes de iniciar cualquier ajuste, se activará una de estas teclas para que los datos que se programen en los siguientes pasos se graben en un programa simple o en los correspondientes subprogramas que pudieran componer un programa compuesto (Fig. 14-33).
- Si se presiona la tecla inferior PROG, el equipo aplicará los ajustes realizados en la última o única evolución de las distintas regulaciones. Si se pulsán las teclas SUBP-x, será necesario asimilar esos datos de cada subprograma para agruparlos en el programa (PROG) definitivo que los contiene. El equipo aplicará los parámetros del SUBP-1

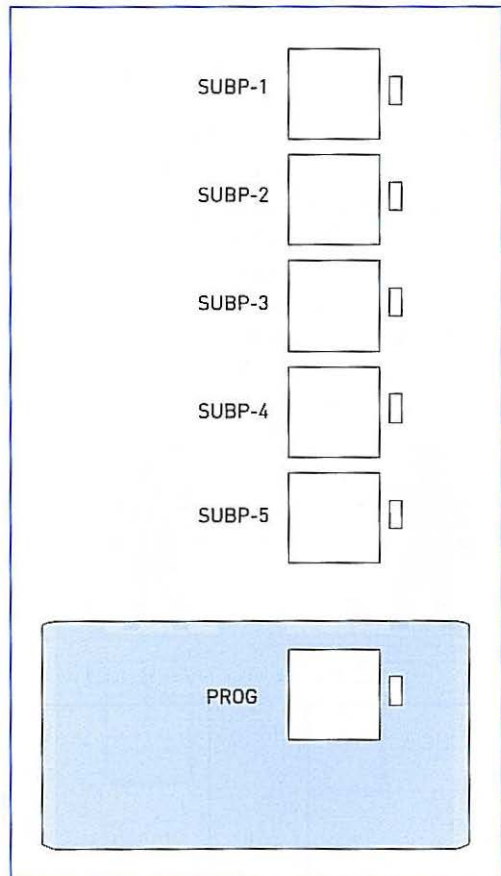


Figura 14-33. Programas (PROG) y subprogramas (SUBP).

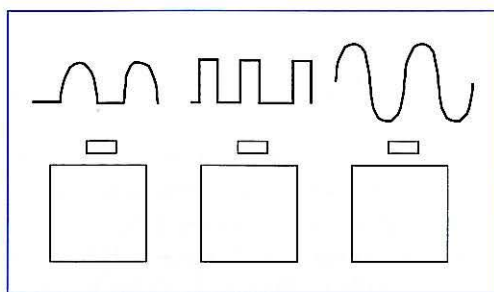


Figura 14-34. Selección de distintas formas de onda y polaridad.

durante el tiempo asignado, a continuación el SUBP-2, el SUBP-3 y así hasta el SUBP-5 si es que se programaron todos. Si se pretende realizar un barrido, al programar dos es suficiente. Si se tratan dos zonas distintas, con dos subprogramas será suficiente. Después de cargar los distintos subprogramas, el programa general sólo se ajustará con la suma de tiempos de cada subprograma.

- Selector de varias formas de onda para hacerlo continuo, pulsado con polaridad o alterno. Cada tecla activa su función de acuerdo con el deseo del fisioterapeuta (Fig. 14-34).
- Inversor de polaridad magnética para dirigir las líneas de fuerza magnética en sentido as-

cendente o descendente respecto al paciente. Cada tecla activa su función (Fig. 14-35).

- Indicador de los gauss que se generan en la bobina, que pueden alcanzar desde 0 hasta un máximo de 200. Al pulsar la tecla inferior del indicador, se activa éste y se introducirán los datos mediante el teclado numérico. Es importante que el equipo añada un sistema comprobador de gauss en la propia bobina (Fig. 14-36).
- Posición en que se encuentra o a la cual se lleva el solenoide para el tratamiento. Se regulará entre la posición 00 y la 99. En caso de barridos indicará la posición por la cual se está desplazando. Pueden intercambiarse las bobinas para usar una de aplicación directa o un solenoide pequeño fuera de la camilla. Esta función, lógicamente, no se activaría o se mantendría en 00. Un programa indicará el valor de la posición, su introducción por teclado numérico o mediante el avance manual del solenoide (Fig. 14-37).
- Reloj para controlar el tiempo de la sesión. Es ajustable entre 00 y 99 minutos. Lo marcará un programa o el ajuste directo mediante teclado. El tiempo de

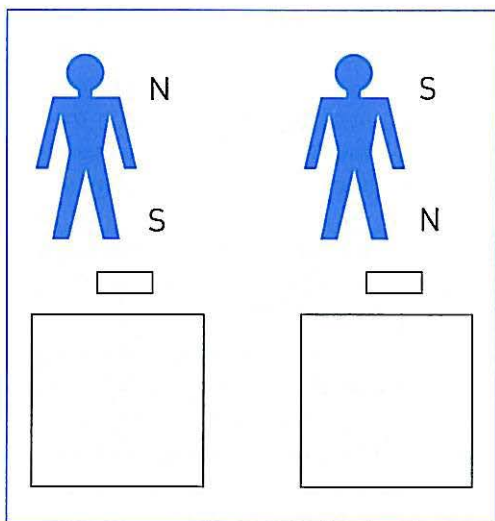


Figura 14-35. Cambio de polaridad en el solenoide.



Figura 14-36. Ajuste de la densidad de campo magnético.

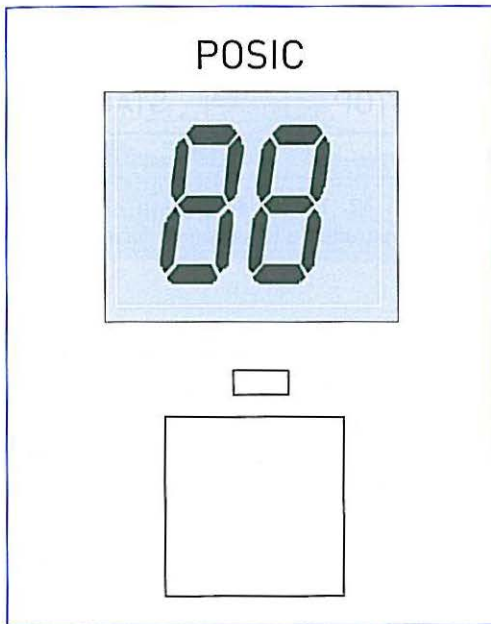


Figura 14-37. Ajuste de la posición (POSIC) del solenoide sobre el cuerpo.

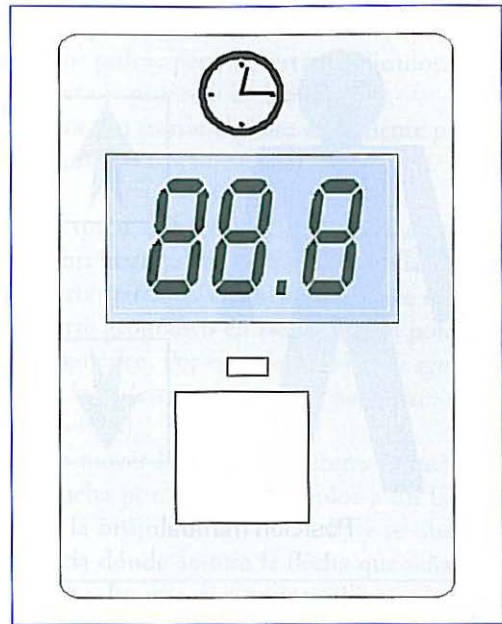


Figura 14-38. Ajuste del tiempo de sesión.

la sesión será la suma de los tiempos de los distintos subprogramas si los hubiere (Fig. 14-38).

- Grabación y lectura de los programas y subprogramas preajustados. El indicador señala el número de programa que se introduce por teclado numérico y la tecla correspondiente activa la función de grabar o de cargar en memoria los datos almacenados (Fig. 14-39).
- Posición manual del solenoide en la camilla, la cual se conseguirá manteniendo la presión sobre las teclas de ascenso o descenso, respectivamente, hasta localizarlo en la posición deseada, bien guiándose por la posición indicada en la pantalla de LED o por la altura adecuada para la zona tratada en el paciente (Fig. 14-40).
- Teclado numérico para introducir los datos que se solicita en cada indicador activado. La tecla inferior izquierda sirve de punto o coma, separador para decimales. La tecla inferior derecha (C) se presionará cuando

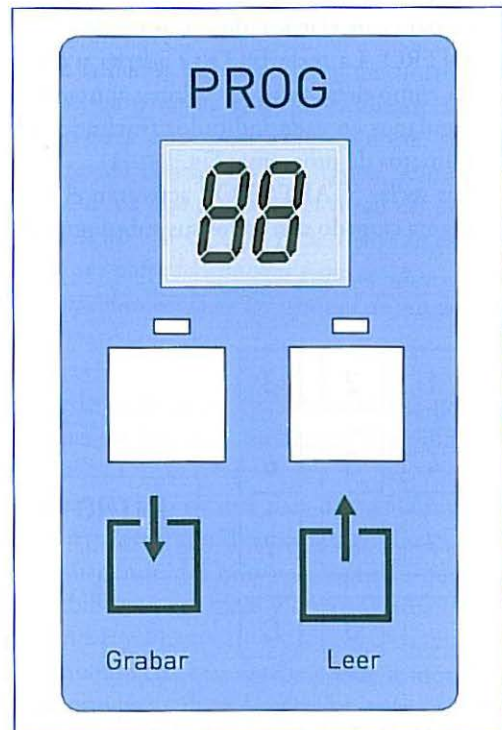


Figura 14-39. Grabar y leer programas.

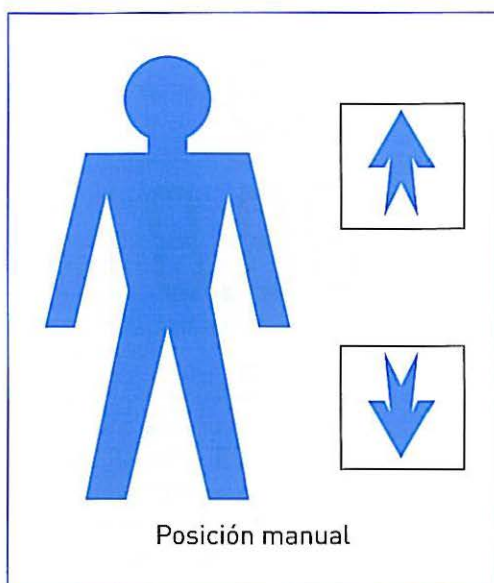


Figura 14-40. Ajuste manual del carro para colocar el solenoide sin control de los programas.

se cometa un error de pulsación numérica para cancelar los ajustes antes de pulsar INTRO. La tecla INTRO acepta y guarda como definitivos los valores ajustados y regulados en cada indicador (incluidos los números de programa; Fig. 14-41).

- Las teclas START/STOP activarán el programa cargado con todos sus subprogramas

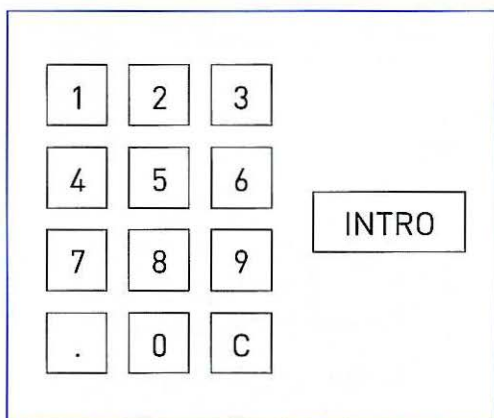


Figura 14-41. Teclado para introducir parámetros en la programación.

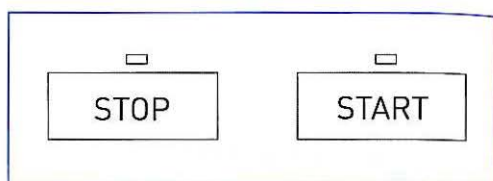


Figura 14-42. Teclas de puesta en marcha (START) y parada de la sesión de forma manual (STOP).

o los parámetros ajustados sin cargarlos en programa. STOP lo detendrá para poner la máquina en espera de nuevos ajustes o reactivar lo último cargado en la memoria (Fig. 14-42).

Colocación del paciente

Al paciente se le situará en posición cómoda, debe adaptarse al aparato o, incluso mejor, el equipo debe adaptarse al paciente —si el sistema lo permite—, mientras las bobinas envuelven la zona tratada (Fig. 14-43).

Si las bobinas son solenoides cilíndricos, el miembro se introducirá a modo de núcleo en la bobina, pero lo más próximo posible a la pared del solenoide. Si las bobinas son planas o de proximidad, se deberán aplicar sobre la piel o a través de un paño o gamuza seca en la zona elegida.

Los tratamientos o sesiones se indican largos, entre media hora y una hora (incluso se aconsejan varias horas seguidas de tratamiento, por lo general, aplicado con equipos portátiles y destinados de forma muy expresa a retardos de consolidación). La intensidad del campo recomendable oscila entre 50 y 100 G (medidos en la bobina, que no teóricos). Algunos fabricantes alcanzan los 150 o 200 G. Un efecto añadido que debe tenerse muy en cuenta es la siesta aliviadora de tensiones que «superpone el paciente» a la sesión de magnetoterapia.

Se tiende a afirmar que poca intensidad es ideal para procesos agudos y regulación de

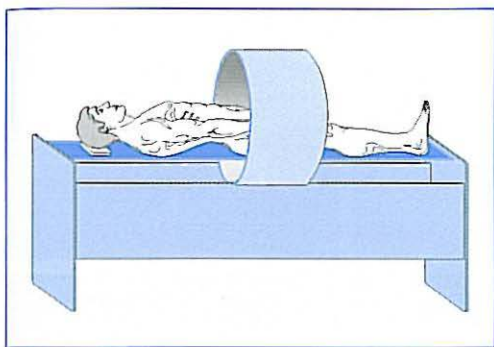


Figura 14-43. Mesa de magnetoterapia con solenoide deslizante.

gauss alta para los crónicos (la frecuencia y los tipos de pulso influyen de forma fundamental en la energía que recibe el paciente). Dado que la energía aplicada es muy relativa, en grado I y se desconoce su respuesta fisiológica, este sistema es, cuando menos, dudoso.

En aplicaciones destinadas a los tejidos blandos y en procesos en que se requiere la activación del metabolismo se necesita un aporte energético importante que la magnetoterapia no puede alcanzar. ¿Para qué se aplican varias sesiones de magnetoterapia si con una sesión de onda corta o de microonda se consiguen los mismos resultados?

Localización de los polos magnéticos de un solenoide o bobina plana

Es bastante frecuente que no se conozca la modalidad de trabajo de los aparatos de magnetoterapia con que se trabaja en cuanto a la polaridad, si son pulsados monofásicos, si son campos alternos, si son continuos, etc. Por estas y otras razones debe hacerse un esfuerzo por entenderlos y dominarlos a fin de decidir con claridad, a la hora de aplicarlos como terapia, y para contribuir a perfeccionar e investigar las metodologías terapéuticas.

Con un imán cualquiera adquirido en ferreterías, pueden iniciarse las observaciones de

los campos magnéticos. Un imán normal tiene los dos polos, pero no están indicados, y lo primero es proceder a identificarlos.

Para ello puede seguirse el siguiente procedimiento:

- Se toma una brújula simple (que es una aguja imantada) y se la orienta hacia el polo norte terrestre. Debe aclararse que el polo norte geográfico en realidad es el polo sur magnético. Por esto, *la punta de la aguja en la brújula es su polo norte magnético* (Fig. 14-44 A).
- Sin mover la brújula, se acerca el imán de prueba por uno de sus polos a un lateral de la brújula (Fig. 14-44 B) y se observa hacia dónde apunta la flecha que señala el norte. En este caso apunta al imán, lo cual significa que el norte busca al sur porque se ha aproximado el polo sur.
- A continuación se gira el imán 180° y se observa de nuevo la punta de las flechas en la brújula (Fig. 14-44 C). Puede observarse que la flecha (norte) se aleja del norte del imán en prueba. Ya se ha localizado también en la cara opuesta el polo norte.
- Antes de olvidar los resultados, se marca uno o los dos polos en el imán en pruebas (Fig. 14-44 D). *Ya se tiene un imán con sus polos localizados para comprobar el comportamiento de los equipos de magnetoterapia.*

Puede reafirmarlo (o localizarlos si no se dispone de brújula) mediante la siguiente prueba:

- Se ata un hilo en una zona de equilibrio del imán para que gire libremente y sin obstáculos.
- Se suspende del hilo y se espera a que se estabilice en sus giros y movimientos (Fig. 14-44 E y F).
- Contando con que se sabe dónde se localiza el norte geográfico, la cara del imán que se oriente hacia el norte geográfico será el polo norte del imán.

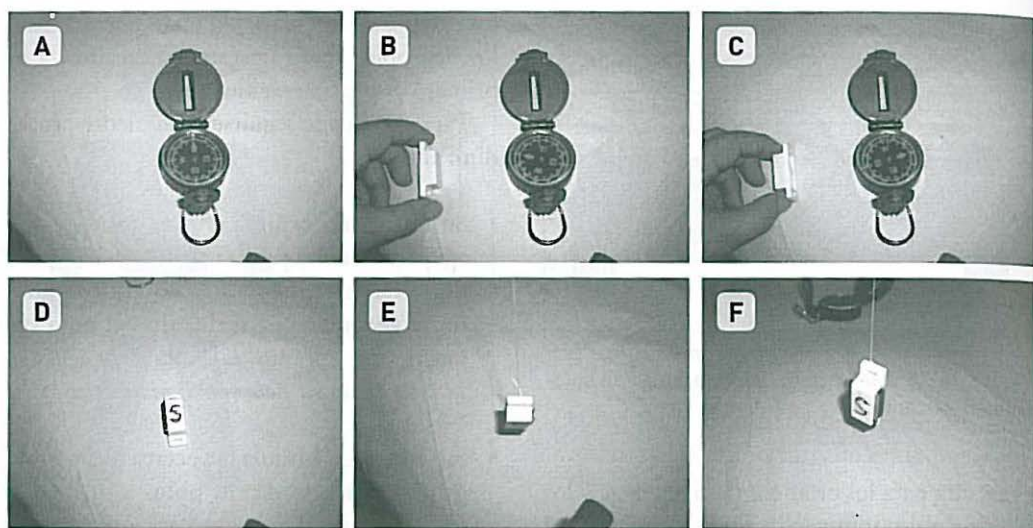


Figura 14-44. A) La brújula indica el norte geográfico o el sur magnético. B) Se ha acercado la cara sur del imán porque se aproxima el norte de la brújula. C) Se gira el imán y se observa que se aleja el norte de la brújula porque se ha aproximado el norte del imán. D) Se marca una o las dos caras con la polaridad hallada. E) El imán pende de un hilo y se orienta con su cara norte hacia el norte geográfico y con ello reafirma la correcta localización de los polos. F) Se aprecia perfectamente el hilo que sustenta al imán.

- Se marcará o comprobará que se está en lo cierto según lo hallado con otras pruebas.



Video 14-3. Identificación de los polos de un imán

Si este imán datado, al sostenerlo en la mano, se introduce en el campo magnético de un solenoide, puede sentirse y averiguarse:

- Dónde se localizan los polos del solenoide porque el imán busca una orientación, ya que pasa a formar parte de las líneas de fuerza magnética del solenoide. Debe recordarse que por el interior van de sur a norte y por fuera de norte a sur.
- Se sabrá si es continuo porque se orienta en un sentido, no vibra y, al modificar su orientación, de inmediato la recupera.
- Si vibra y tiende a mantener una orientación, se está frente a campos pulsados con polaridad.

- Si vibra y no lucha por mantener una orientación, se está frente a campos alternos.
- Se notarán las zonas de mucho efecto magnético y de poco efecto.
- Podrá intuirse o acostumbrarse a las diferentes frecuencias por la rapidez de la vibración.
- Podrá notarse con las vibraciones si se aplican modulaciones o la ausencia de cambios en el campo generado.
- Asimismo, se le indica al paciente que lo sienta en su mano para concienciarlo de que en realidad está sometido a una terapia con energía magnética.

Otros sistemas más sofisticados consisten en introducir una bobina en el campo magnético y esta bobina transforma el campo magnético en corrientes eléctricas que pueden observarse mediante diodos luminosos (Fig. 14-45) o conectar a esta bobina la sonda de un osciloscopio para analizar las formas de onda, frecuencia, polaridad, etc., en el osciloscopio.



Figura 14-45. Bobina conectada a dos diodos luminiscentes que emiten luz cuando se introduce el conjunto en un campo magnético.

Si se observa que se iluminan de forma alternante, el campo magnético es alterno y puede intuirse la frecuencia.

En la figura 14-46, una bobina recibe los campos magnéticos y los transforma en corrientes eléctricas que capta la sonda del osciloscopio. El osciloscopio informa de que son campos magnéticos alternos con una frecuencia de unos 20 Hz medidos, no intuitivos (aunque con cierto ruido gaussiano). Al conocer las características de la bobina y los valores obtenidos, podrán saberse los gauss emitidos. Este aparato supera los 1.000 G.

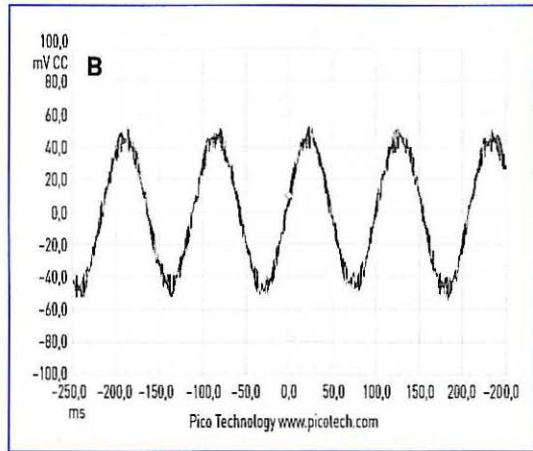
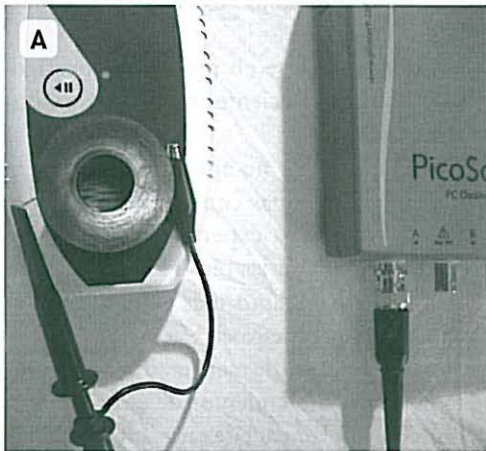


Figura 14-46. A) Bobina captadora del campo magnético a la cual se conecta una sonda de osciloscopio. B) El resultado de lo captado por el osciloscopio son campos alternos de unos 20 Hz.

Aplicaciones según el efecto biológico

Dependiendo de la fuerza del campo magnético, de la forma de onda y de su polaridad, debe enfocarse la magnetoterapia para un tipo de patologías u otras:

- Los equipos que generan ondas alternas producen agitación iónica en el medio y reactivación metabólica. Por ello, se indican en procesos de tipo reumático cronicados, contracturas musculares, mejora del riego, aumento de oxígeno en la zona, etc. Esto se llevará a cabo con densidades de campo altas y frecuencias elevadas (dentro de los márgenes de cada máquina; Fig. 14-47 A).
- Los equipos que generan campo continuo con polaridad magnética se reservarán para efectos antiinflamatorios o reactivadores locales del trofismo en procesos crónicos (norte: procesos agudos; sur: procesos crónicos). Son aplicaciones comparables al galvanismo y a la imanoterapia con sus imanes aplicados sobre la piel.
- Los equipos con pulsos sin alternancia en su polaridad (siempre el mismo lado de la bobina mantiene la misma polaridad) pueden dedicarse al efecto regenerador de calcio para los retrasos de consolidación. El

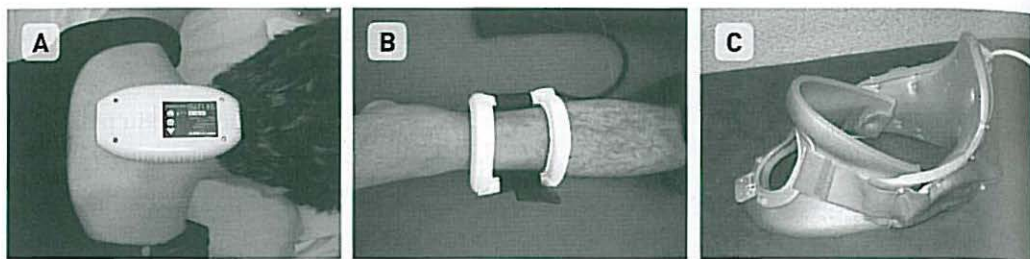


Figura 14-47. A) Aumento del riego circulatorio de las arterias vertebrales. B) Recalcificación ósea en fracturas con retraso de consolidación. C) Collarín con tres bobinas para uso específico de terapia basada en la resonancia iónica ciclométrica.

norte consigue electronegatividad y recalcificación ósea. El sur provoca electropositividad y destrucción ósea (Fig. 14-47 B).

- Los equipos con poca densidad magnética, diseñados con barridos o frecuencias específicas, campos alternos, con varias bobinas en el mismo solenoide suelen estar indicados para provocar resonancia iónica ciclométrica (Figura 14-47 C).

néticas. Por lo general, esto obedece al hecho de que cada diseñador busca los efectos terapéuticos por vías diversas, dado que no se han unificado los criterios.

Precauciones y contraindicaciones

En este caso hay que recurrir a los tópicos de siempre:



Vídeo 14-4. Magnetoterapia en menisco interno

La figura 14-47 A es una aplicación de campos magnéticos con mucha densidad de líneas (más de 1.000 G), alterno y frecuencia de 20 Hz. Está pensado para mejorar el riego sanguíneo local y de las arterias paravertebrales. La sesión dura entre 5 y 10 minutos.

La figura 14-47 B es la típica aplicación para retrasos de osificación, con campos magnéticos pulsados y cuadrados, monofásicos, el norte hacia la fractura, unos 150 G y sesiones de hasta 15 horas diarias.

La figura 14-47 C es un collarín diseñado para un equipo de resonancia iónica ciclométrica con tres bobinas, para aplicar tres frecuencias diferentes en modo alterno y con bajas densidades de fuerza magnética. Los tiempos de sesión oscilan entre 10 y 30 minutos.

Se encuentran aparatos que generan mucha fuerza magnética, otros con fuerzas moderadas y un tercer grupo con bajas densidades mag-

- No debe aplicarse en mujeres embarazadas.
- No debe aplicarse en el trayecto cardíaco de pacientes con cardiopatías. ¿Cuántos pacientes no diagnosticados se someterán a magnetoterapia?
- No debe aplicarse en pacientes con marcapasos.
- Hay que evitar en lo posible el sistema nervioso central.
- No debe aplicarse en procesos cancerígenos. ¿Cuántos pacientes no diagnosticados se tratarán?
- Es recomendable no aplicar campos magnéticos sobre zonas con osteosíntesis metálicas, ya que la experiencia indica que pueden aumentar las respuestas de rechazo (aunque el concepto más extendido es el contrario al expuesto en este caso).
- No debe aplicarse de manera simultánea junto con otros tratamientos de electroterapia (salvo láser y lámpara de rayos infrarrojos).

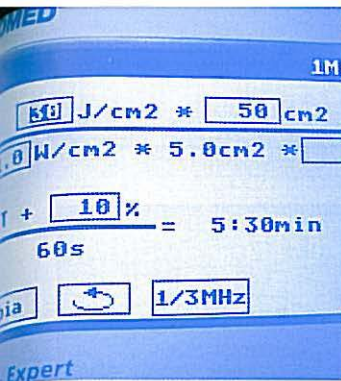


Autoevaluación

Material complementario en el sitio web



- Autoevaluación
- Vídeos:
 - 13-3. Ratio pulso-reposo
 - 14-1. Campo magnético sobre chorro de electrones
 - 14-2. Efecto Hall
 - 14-3. Identificación de los polos de un imán
 - 14-4. Magnetoterapia en menisco interno



15 Ultrasonoterapia

Contenido

- Concepto de piezoelectricidad, generación de energía cinética y modos de aplicarla
- Metodología de la ultrasonoterapia
- Dosificación de ultrasonoterapia
- Indicaciones, precauciones y contraindicaciones de la ultrasonoterapia
- Algunos procesos patológicos con sugerencias de tratamiento mediante ultrasonoterapia

Objetivos de aprendizaje

- Comprender el modo de generar las ondas sonoras por piezoelectricidad.
- Dominar las frecuencias usadas de ultrasonidos en fisioterapia (en modo continuo y en modo pulsado).
- Dominar la metodología de aplicación de ultrasonoterapia.
- Dominar la dosificación de ultrasonoterapia y sus variables.
- Conocer los efectos específicos de los ultrasonidos sobre los tejidos orgánicos.
- Saber las indicaciones, precauciones y contraindicaciones de la ultrasonoterapia.
- Asimilar el manejo de un equipo de ultrasonoterapia.

Síntesis conceptual

- ✓ En este capítulo se sale del espectro electromagnético para abordar el espectro sonoro (ultrasónico) que se aplica en fisioterapia.
- ✓ Se describen la forma básica de generar los ultrasonidos, las metodologías para aplicarlos y, sobre todo, su dosificación para que esta técnica terapéutica sea eficaz.
- ✓ El lector encontrará bastantes prácticas para realizar hasta dominar la metodología de dosificación, así como las indicaciones, precauciones, contraindicaciones y sugerencias de tratamientos en patologías concretas.
- ✓ También se describe un posible diseño de un equipo para ultrasonoterapia con el sistema de dosificación que en este caso se propone.
- ✓ Asimismo, se describe una breve introducción a la terapia de ondas de choque y a la ecografía, como herramienta exploratoria.

INTRODUCCIÓN

La ultrasonoterapia quizá sea la técnica más compleja y difícil de la electroterapia. En apariencia es fácil, porque consiste en deslizar un cabezal sobre el paciente, pero nada más lejos de la realidad si se consideran sus parámetros y correcta dosificación.

No se trata de «aplicar los ultrasonidos un ratillo, pero no mucho porque salen caros...» o «que lo aplique el auxiliar, que yo tengo cosas más importantes que hacer...». Este tipo de situaciones ha conducido a la degeneración de la técnica y a la poca consideración sobre la adecuada dosificación. Puesto que es una terapia eficaz si se aplica de forma adecuada, merece la pena dedicar un esfuerzo a entender la metodología de trabajo y sus parámetros para dosificarla de forma correcta.

Los ultrasonidos son ondas sonoras de alta frecuencia, desde 800.000 a 3.000.000 Hz (de 0,8 a 3 MHz), producidas por un cabezal vibratorio que se aplica sobre la piel, a través del cual penetran en el organismo. La denominación de ultrasonidos está determinada porque con esta técnica se supera el límite de ondas sonoras (perceptibles por el oído humano) entre 15.000 y 20.000 Hz.

Según esto, no se hace referencia a energía electromagnética, como con el resto de otras corrientes. Es frecuente escuchar opiniones que fomentan la polémica sobre el hecho de que esta técnica no pertenece a la electroterapia, pero de hecho se considera una parte de ella.

Se trata de aplicar una energía cinética o mecánica que absorba el organismo para transformarse en otra diferente en su interior de igual forma que ocurre con la alta frecuencia, la luz o el calor, pertenecientes éstas a la energía electromagnética.

GENERACIÓN DE LOS ULTRASONIDOS

Para generar los ultrasonidos se aprovecha un fenómeno físico basado en el hecho de

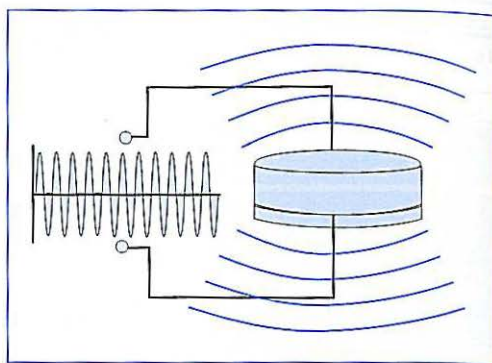


Figura 15-1. Las ondas eléctricas aplicadas a ciertos minerales provocan sobre ellos cambios en su forma a la misma frecuencia que las ondas aplicadas.

que algunos minerales poseen la propiedad de emitir pulsos eléctricos cuando se los deforma o, a la inversa, se deforman al someterlos a un impulso eléctrico. Este fenómeno recibe el nombre de piezoelectricidad (en este caso, piezoelectricidad inversa; Fig. 15-1).



Vídeo 15-1. Piezoelectricidad

Según esto, será necesario disponer de un equipo formado por un generador de impulsos eléctricos a la frecuencia antes citada, impulsos dirigidos al cabezal de tratamiento, en cuyo interior se encuentra el prisma transductor de electricidad en vibración cinética: transductor de cuarzo o bien de otros minerales de moderna obtención, los cuales incluso mejoran las prestaciones del clásico cuarzo. Todos ellos cuentan con la propiedad de piezoelectricidad (Fig. 15-2).

Para que las ondas emitidas consigan la mayor potencia posible, la «pastilla piezoeléctrica» debe tener unas dimensiones y una forma acorde y en sintonía con la frecuencia aplicada. Por este motivo se necesitan cabezales de diferente tamaño para distintas frecuencias, aunque se está superando esta condición (Fig. 15-3).

Las frecuencias que en la actualidad se emplean son:

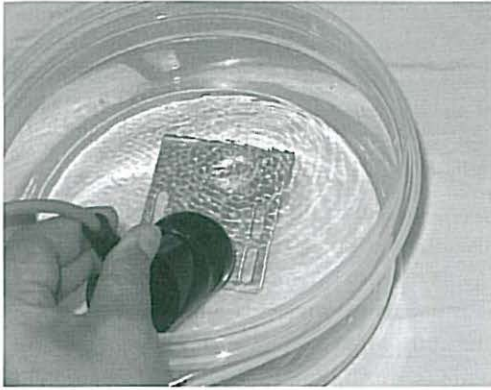


Figura 15-2. Las ondas sonoras generadas en el cabezal se reflejan en el metal y las turbulencias se observan en el agua.

- Alrededor de 1 MHz en modo continuo o pulsátil.
- Alrededor de 3 MHz en modo continuo o pulsátil.
- El *modo continuo* consiste en la aplicación constante de la vibración a la frecuencia elegida (Fig. 15-4).
- El *modo pulsátil* consiste en interrupciones en la vibración que originan impulsos formados por pequeñas modulaciones de ultrasonidos (Fig. 15-4).

Los antiguos equipos de ultrasonoterapia sólo disponían de un selector para modo conti-



Figura 15-3. El tamaño de la superficie de aplicación en el cabezal «tenía» mucho que ver con la frecuencia usada. En la actualidad, el mismo tamaño sirve para varias frecuencias.

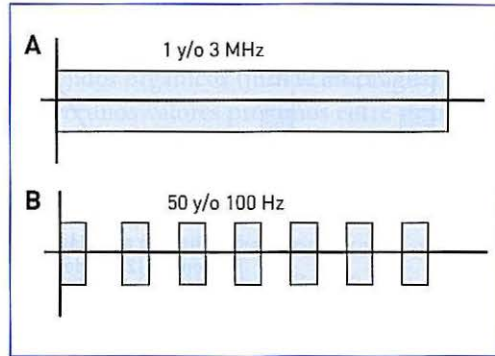


Figura 15-4. A) Modo continuo de 1 o 3 MHz. B) Modo pulsátil de 50 o 100 Hz. El modo pulsátil, de base mantiene la portadora de 1 o de 3 MHz.

nuo o pulsátil, pero en la actualidad, la opción de pulsátil cuenta con varias opciones. Dado que se encuentran diferentes versiones de equipos para el tratamiento con ultrasonidos para elegir, se necesita saber el porqué y para qué se utilizan. Además, no coinciden las nomenclaturas entre fabricantes por lo que es necesario intentar aclarar o explicar los distintos métodos.

En este punto puede afirmarse que las influencias fundamentales de los distintos modos pulsátiles causarán alteraciones en la potencia aplicada y en los distintos efectos, situaciones que más adelante se describirán con mayor detalle.

Aunque es muy frecuente usar la expresión «*duty cycle*» en la bibliografía de electroterapia, cuando se detallan las características del modo pulsado en esta obra, se emplearán nomenclaturas más claras y didácticas, porque en realidad se trata de indicar (de modo aritmético) las distintas razones aritméticas entre el pulso y el reposo, así como su pérdida de potencia. En ultrasonoterapia, las características de los ultrasonidos pulsátiles se suelen indicar de cuatro formas distintas (Fig. 15-5):

- Ratio pulso reposo: se relaciona el impulso con el reposo (1:R).
- Fracción pulso período: se relaciona el impulso con el período del ciclo (1/Per).

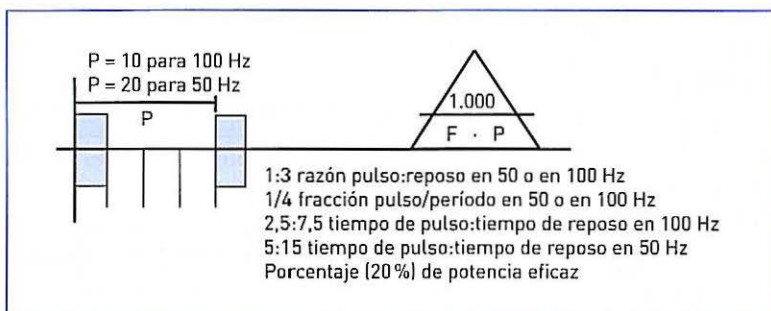


Figura 15-5. Distintos modos de indicar de forma aritmética los valores de la potencia eficaz cuando se aplican ultrasonidos en modo pulsátil.

- Tiempo de pulso tiempo de reposo: indica en milisegundos el tiempo del impulso y el del reposo (P:R).
- Porcentaje de trabajo eficaz: relaciona el impulso con el período en un porcentaje (X %).



Vídeo 15-2. Ratio pulso-reposo

En el primero, el segundo y el cuarto métodos es necesario añadir información sobre si se halla en 50 o en 100 Hz, mientras que el tercero aporta toda la información siempre que se sepa trabajar con los períodos determinados en cada frecuencia.

Los pulsos de ultrasonidos establecen una nueva frecuencia elegida, en general, entre 50 y 100 Hz. Las proporciones usadas entre cada pulso

y su reposo dentro del período para 50 o 100 Hz suelen ser de 1:1, 1:2, 1:3, 1:4, 1:5, 1:10, 1:20, etc. de forma que, si se elige la razón matemática (ratio pulso:reposo) de 1:1, el impulso y la pausa serán de igual duración. En cambio, si se elige 1:5, de seis partes, una será para el impulso y cinco para la pausa, así como para 1:20, donde de 21 partes, una será para el impulso y las 20 restantes para la pausa. Debe analizarse de forma detenida la figura 15-5, en la cual se representa un ratio pulso/reposo de 1:3 y un ratio pulso/período de 1/4. También pueden indicarse los tiempos de pulso y de reposo en milisegundos para 50 y 100 Hz.

En la tabla 15-1, las frecuencias con pulsos a 50 o 100 Hz tienen que estar determinadas por períodos de 20 ms para 50 Hz o de 10 ms para 100 Hz (suma del tiempo destinado al

Tabla 15-1. Razones aritméticas de los ultrasonidos pulsátiles y su reducción de potencia

Ratio pulso: reposo	Fracción pulso/ período	100 Hz (10 ms) Tiempo de pulso: tiempo de reposo	50 Hz (20 ms) Tiempo de pulso: tiempo de reposo	Resultante de la potencia en (%)
1:1	1/2	5:5	10:10	50
1:2	1/3	3,5:6,5	6:14	33
1:3	1/4	2,5:7,5	5:15	25
1:4	1/5	2:8	4:16	20
1:5	1/6	1,5:8,5	3:17	16
1:8	1/9	1:9	2:18	11
1:10	1/11	0,9:9,1	1,5:18,5	9
1:20	1/21	0,5:9,5	1:19	5

impulso y el destinado al reposo), pero en las proporciones se citan desde 1:1 hasta 1:20 de forma que si se desean mantener 20 ms o 10 ms, habrá que modificar los tiempos de la forma que se muestra en la [tabla 15-1](#).

A veces, no es fácil saber cuál de estos sistemas emplea cada fabricante porque, como se aprecia en la [tabla 15-1](#), algunos valores de distintas columnas coinciden (aunque el signo que los separa es diferente), pero en realidad en las máquinas se observará que cada cual emplea una nomenclatura distinta. Si no se es capaz de intuir qué sistema se sigue en un caso concreto, habrá que buscarlo en las especificaciones técnicas del manual o ponerse en contacto con el fabricante. Más adelante se volverá sobre esta información para establecer un sistema de dosificación.

VELOCIDAD DE CONDUCCIÓN Y LONGITUD DE ONDA

El texto se basa en la siguiente fórmula:

$$\text{Velocidad} = \text{Longitud de onda} \cdot \text{Frecuencia}$$

Si se observa la [tabla 15-2](#), en la columna de las velocidades de conducción se aprecia que los tejidos orgánicos (junto con el agua) mantienen unos valores próximos entre sí, pero el metal, el hueso y el aire muestran, claramente, diferencias importantes.

Los metales y el hueso pueden parecerse al cristal y su comportamiento frente a la luz, es decir, la conducen muy bien o la reflejan en gran cantidad. Sin embargo, el aire es bastante mal conductor. Por consiguiente, el aire no servirá como transmisor y, además, creará problemas en órganos que contengan aire, por lo que será necesario tomar precauciones; por ejemplo, ante las paredes alveolares del pulmón o intestinales cuando contienen gases, sobre todo con potencias altas o porque el cabezal se detiene en un punto.

APLICACIÓN DE LOS ULTRASONIDOS

Puesto que el aire es mal conductor de ultrasonidos, se deberán aplicar de forma que no aparezca solución de continuidad entre la piel y el cabezal aplicador; para ello se recurrirá a

Tabla 15-2. Comportamiento de los ultrasonidos en diferentes medios

Medio	Velocidad en (m/s)	Longitud de onda en 1 MHz	Longitud de onda en 3 MHz
Aire	343	0,34	0,11
Grasa	1.478	1,48	0,49
Agua	1.492	1,49	0,50
Piel	1.519	1,51	0,50
Vaso sanguíneo	1.530	1,53	0,51
Músculo	1.552	1,55	0,52
Sangre	1.556	1,57	0,52
Cartílago	1.750	1,75	0,58
Tendones	1.750	1,75	0,58
Hueso	3.445	3,44	1,14
Aluminio	5.100	5,10	1,70

una sustancia gelatinosa que reúna las siguientes condiciones:

- Ser un buen conductor de las ondas ultrasónicas.
- Facilitar el deslizamiento.
- No transformarse en grumos ni resecarse.
- No irritar la piel.

También pueden aplicarse a través del agua, forma denominada subacuática, deslizando el cabezal a la distancia de 1 o 2 cm de la piel, pero debe mantenerse la precaución de evitar las burbujas de aire que se van depositando sobre la piel tratada y hacerlas desaparecer. Si en la modalidad subacuática se toca la piel del paciente, no ocurrirá nada en absoluto.

Un tercer método consiste en interponer una bolsa de látex con agua y sin burbujas de aire (p. ej., un guante de cirugía) entre la piel y el cabezal. El cabezal también se mantiene en movimiento y es soportado por la deformación del cojín de agua. Entre la bolsa de agua y la piel, así como entre la bolsa de agua y el cabezal, debe aplicarse gel conductor (Fig. 15-6).

Los bloques de hielo y algunos geles contenidos en bolsas para aplicar frío no son ade-

cuados por su débil capacidad de conducción (demostrado con ecografía).

Los modos de aplicación son dos: *a cabezal móvil y a cabezal fijo*.

Suelen sugerirse aplicaciones *semiestacionarias*, pero no se recomiendan en esta obra porque alteran de forma excesiva las condiciones para dosificar con un mínimo de precisión, como más adelante se comprenderá.

Una vez que se ha ajustado la potencia elegida, se ha decidido la modalidad, se ha seleccionado la zona de tratamiento y la dosis, se mantiene el cabezal en movimiento, que será: lento, regular, no perderá el contacto, siempre se mantendrá perpendicular a la zona tratada, esquivará los salientes óseos, ejercerá una suave presión y realizará un reparto homogéneo de los movimientos por toda la zona tratada.

Hay que evitar por todos los medios que la sesión se convierta en algo monótono y mecánico. Si se desea aplicarlos con eficacia por toda la zona elegida, debe exigirse atención y concentración constante. Es fundamental que se delimiten de alguna forma los bordes de la zona tratada para evitar que se comience en un lugar y se termine en otro, o que la delimitación recuerde de forma constante el reparto homogéneo por la superficie decidida. Una buena sugerencia a este respecto puede ser marcar límites con esparadrapo de papel antialérgico y de baja adherencia (Fig. 15-7).

La atención es importante para evitar paradas o zonas no recomendadas, que puedan causar un fuerte dolor neurálgico por acumulación excesiva de energía cinética que rompe los tejidos, dolor procedente de la rotura de fibras nerviosas. En determinadas circunstancias puede detenerse el movimiento del cabezal o dejarlo largos períodos de tiempo sin funcionar, sobre todo si se considera que la potencia aplicada es muy baja o de administración lenta.

Si se establecen círculos sobre la zona, se saturan unas partes mientras que otras reciben poco; si se mueve el cabezal formando un

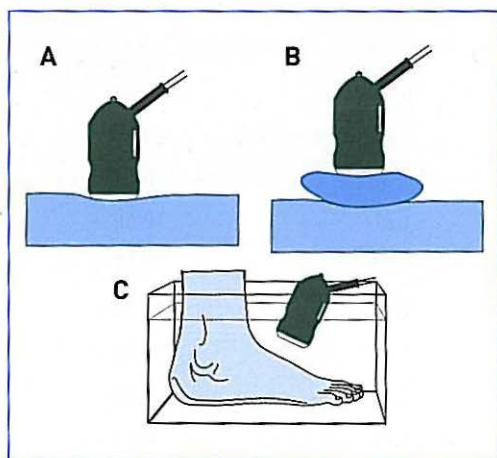


Figura 15-6. A) Aplicación directa del cabezal. B) Aplicación a través de una bolsa de agua. C) Aplicación subacuática.

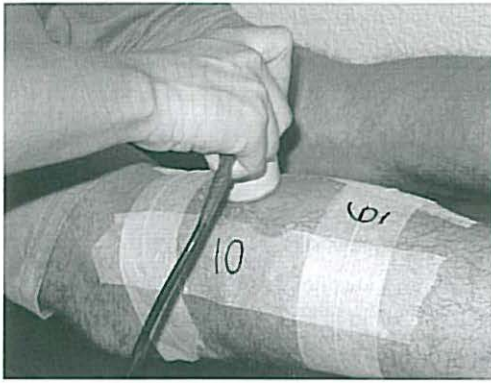


Figura 15-7. Delimitación y medida (en centímetros) de la zona tratada.

«ocho», también ciertas zonas se saturarán y otras mostrarán un déficit. Es muy importante decidir la zona y marcar una estrategia de barrido repetitivo en ambos sentidos, con la precaución de que los bordes o esquinas reciban la misma cantidad de ultrasonidos que el centro (Fig. 15-8).

BNR del cabezal

Debe saberse que la forma del haz no es homogénea, pues por el centro del cabezal emite más energía que por el borde. Por ello, se considerará una serie de ondas concéntricas que emergen de la superficie plana del cabezal; las centrales son más potentes que las de los bordes.

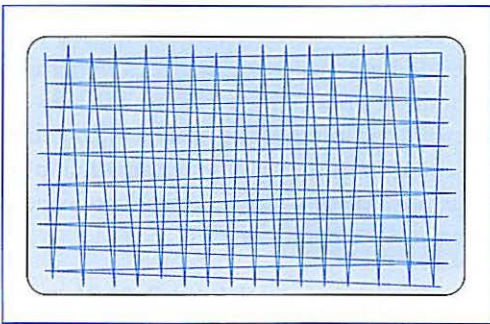


Figura 15-8. Se prestará especial atención al reparto homogéneo de la energía aplicada y se considerará toda la superficie delimitada.

A este fenómeno se le confiere una importancia relativa porque influye en las aplicaciones a cabezal fijo. Se está haciendo referencia al *ratio de no homogeneidad del haz ultrasónico* (BNR), que obliga a realizar constantes inclinaciones aleatorias, cuando el cabezal está fijo, para redirigir el haz en todas las direcciones bajo el cabezal a fin de evitar la concentración continuada en el mismo punto (Fig. 15-9 A).

En la figura 15-9 A se representa un corte transversal de un cabezal centrado en la placa de emisión o *área real de emisión* (ERA), sobre la cual se superpone un gráfico bidimensional de la emisión ultrasónica de dicho cabezal. Por lo general, los cabezales emiten más por el centro que por los bordes y esa diferencia entre el centro y el borde se comparan y se establece una razón aritmética entre ellas, de manera que en esta figura puede afirmarse que es de 5 a 1 (BNR de 5:1) o, simplemente, BNR de 5.

El BNR ideal sería 1:1 (emite lo mismo por el centro que por el borde), pero técnicamente es muy complejo y se admiten como buenos valores hasta 5:1 o 6:1. Este parámetro está especificado en el cabezal por el fabricante. Cuando se lean valores de BNR por encima de 6:1 o sólo un 6, se tendrá un especial cuidado en las aplicaciones a cabezal fijo o en las paradas con el cabezal en aplicaciones móviles.

Dado que el haz de ultrasonidos no es homogéneo por todo el cabezal, provoca interferencias y nódulos de potencia que primero convergen, inmediatamente después se concentran y con posterioridad se difractan y mantienen cierto paralelismo, con poca divergencia (Fig. 15-9 B). Se está haciendo referencia a fenómenos que también se presentan en la luz y en radiofrecuencia. Para comprobarlo, basta con tomar en la mano una lupa y observar a través de ella objetos lejanos; si se la separa de forma progresiva de los ojos, se alcanza un punto en que los objetos se observan nítidos, pero invertidos, con la característica de que (más allá del punto de convergencia) continúan nítidos aunque se modifique la distancia entre la lupa y el ojo.

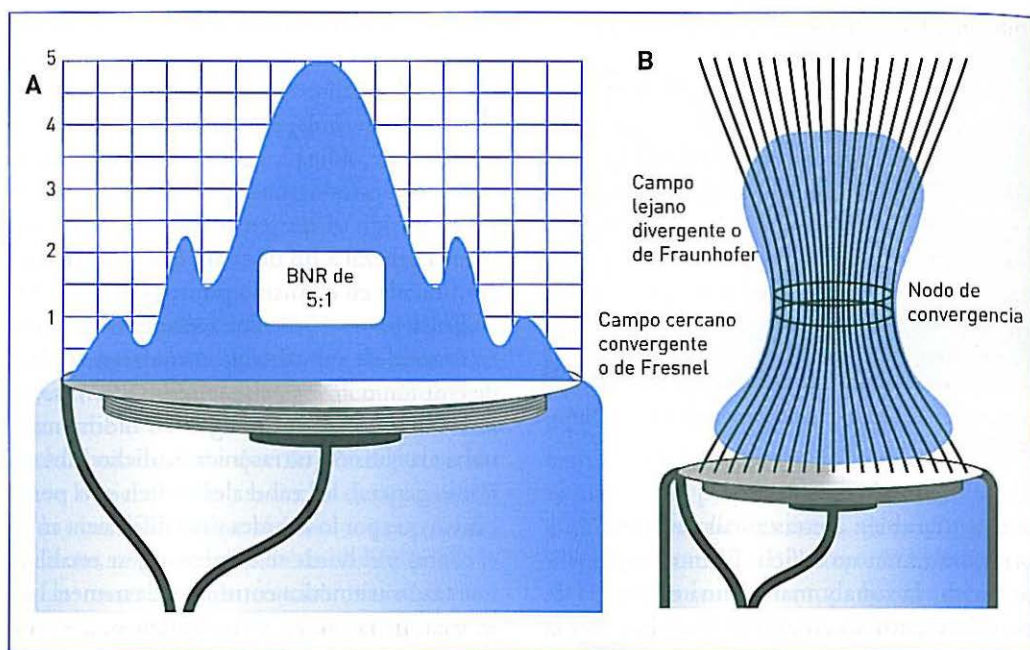


Figura 15-9. A) Corte transversal de un cabezal de ultrasonidos, sobre el cual se superpone un gráfico de emisión de no homogeneidad (BNR) con un fondo, a modo de gráfico, para comparar el ratio entre la emisión central y el borde del área real de emisión (ERA). B) Comportamiento habitual del haz ultrasónico y su máxima concentración energética.

Esto explica que:

- En el campo cercano (zona de Fresnel) puede haber riesgos de lesión tisular por la tendencia a la concentración puntual.
- En el nodo de convergencia, si es muy estrecho, con facilidad aparece la cavitación y el daño celular.
- A partir del nodo de convergencia (zona de Fraunhofer), el haz se vuelve muy homogéneo y está libre de riesgos.

Como se ha descrito antes, en las aplicaciones a cabezal fijo hay que desplazar el nodo de convergencia mediante ligeras inclinaciones en todas las direcciones para no acumular tanta energía en un volumen tisular pequeño.

Si se desea evitar la zona de convergencia y el nodo, se aleja el cabezal de la piel mediante un globo de látex lleno de agua o, en aplicación subacuática, a unos 2-3 cm de la piel. Sin em-

bargo, esto implica un porcentaje en la pérdida de potencia ajustada que debe compensarse.

El ángulo de convergencia, el tamaño del nodo de convergencia, la profundidad del nodo de convergencia y el ángulo de divergencia son parámetros muy complejos de conocer porque dependen de la frecuencia del aparato de ultrasonidos, de la ERA, del BNR, de la impedancia tisular, etcétera.

Esta circunstancia de convergencia y de falta de homogeneidad del haz convierte al método de aplicación «a cabezal anclado» de forma mecánica (que no a cabezal fijo manual) en una técnica peligrosa, que causa lesión tisular por mala práctica, las mal denominadas quemaduras de ultrasonidos.

Área real de emisión del cabezal (ERA)

Éste es otro parámetro que debe estar especificado en el cabezal por el fabricante, expre-

sado en cm^2 de superficie, por la cual se emite energía ultrasónica con eficacia suficiente. En general se lo denomina ERA por ser un acrónimo de origen anglosajón (área de radiación efectiva) y la traducción no es la más correcta, ya que el ultrasonido, por un lado, no es una radiación porque no se trasmite por el vacío y, por el otro, la expresión «efectiva» no es de uso habitual. Esta *área real de emisión* en general no coincide con la medida de la placa metálica por la cual emite el cabezal. Según lo cual, se está obligado a averiguar las especificaciones de fábrica (Fig. 15-10). Estas especificaciones son necesarias si se pretende aplicar ultrasonoterapia con la suficiente eficacia y precisión. La ERA será una variable que se utilizará en la fórmula de dosificación que más adelante se describirá. Conviene conocer el BNR para evitar pinchazos en el paciente o para forzar la potencia aplicada.



Figura 15-10. Cabezal de ultrasonidos que emite en dos frecuencias (1 y 3,3 MHz), dos áreas reales de emisión (ERA; de 3,8 y 3,14 cm^2), dos potencias máximas (de 11,4 y de 9,4 Wt) y BNR de 3 [3:1] para ambas emisiones.

EQUIPOS APLICADORES DE ULTRASONIDOS

Los aparatos clásicos para generar ultrasonidos destinados a tratamientos fisioterapéuticos constan, sobre todo, de:

- Interruptor de encendido y apagado.
- Reloj de tiempo de sesión.
- Cambio de modo continuo a pulsante.
- Regulador de potencia en W/cm^2 .
- Cabezal aplicador de ultrasonidos.
- Soporte del cabezal.
- Cable de unión entre el generador de impulsos y el cabezal.

Los equipos de última generación están dotados de una serie de mejoras que subsanan muchas de las dificultades que de manera tradicional se planteaban con los antiguos, entre las cuales destacan (Fig. 15-11):

- Selector de 1 o 3 MHz.
- Regulador de potencia en W/cm^2 o por todo el cabezal (W_t).
- Informadores de la potencia aplicada y potencia absorbida en realidad.
- Información de la superficie eficaz del cabezal (ERA).
- Indicador de tiempo real de aplicación.
- Indicadores de sobrecarga del cabezal.
- Selectores de varios tipos de modo pulsátil y sus valores indicativos.
- Detector de la potencia real emitida por el cabezal.

A continuación se detallan algunos de estos puntos para demostrar su importancia.

Selector de 1 o 3 MHz

La diferencia fundamental entre el ultrasonido de 1 y el de 3 MHz consiste en que la frecuencia de 1 MHz posee mayor poder de penetración en los tejidos vivos mientras que

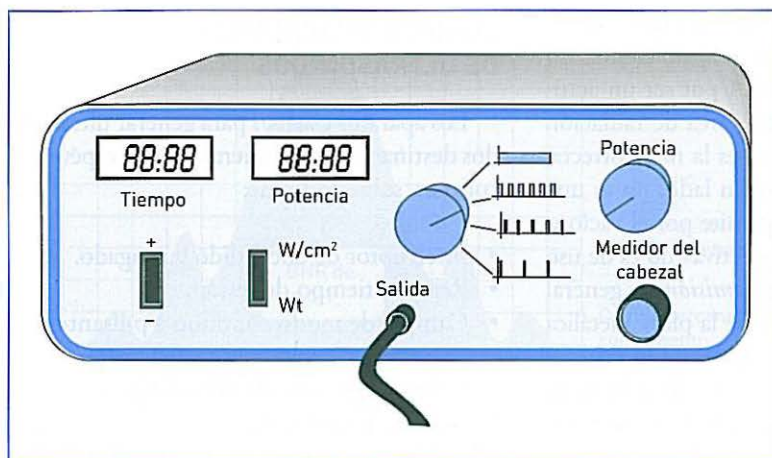


Figura 15-11. Frontal de un equipo de ultrasonidos con las características más típicas y habituales, excepto el medidor de potencia en el cabezal.

la de 3 MHz es más superficial (está demostrado por ecografía).

Regulación de potencia en W/cm^2 o por todo el cabezal

El hecho de aplicar ultrasonoterapia requiere precisar la cantidad de ultrasonidos que en realidad recibe el paciente durante la sesión más que la emitida por unidad de superficie del cabezal en 1 s. Ello implica que se necesita información más precisa que permita calcular de manera adecuada la dosis (*la dosis no es la potencia emitida ni la ajustada*) y, dado que los cabezales pueden ser de distinto tamaño, es necesario conocer la potencia que en realidad se aplica por todo el cabezal para los cálculos de la dosis. Sin embargo, la referencia habitual es la emitida por 1 cm^2 (W/cm^2).

Potencia real aplicada y absorbida

Los equipos aplicadores de ultrasonidos permiten trabajar con potencias expresadas en W/cm^2 , entre 0,1 y 3 W/cm^2 en caso de ultrasonidos continuos de 1 MHz. Los últimos equipos reducen el margen superior del continuo y, en lugar de disponer de 3 W/cm^2 , sólo pueden alcanzarse 2 W/cm^2 , con 1 MHz.

Sin embargo, con 3 MHz el máximo de continuo se limita a 1 o $1,5\text{ W/cm}^2$. Normalmente, el modo pulsado admite alcanzar 3 W/cm^2 o, cuando se supera el valor de dos en continuo, automáticamente pasa a emitir en modo pulsado.

Estos equipos suelen informar de forma continua del porcentaje o potencia absorbida con relación a la potencia inicialmente ajustada. Por lo general, se apreciará que el valor no se mantiene fijo, sino que oscila con el movimiento del cabezal. Esta observación hará pensar en aplicar un coeficiente corrector al alza en la potencia elegida.

La potencia ajustada es un parámetro decisivo en la dosificación, pero no es la dosis.

La potencia en vatios totales del cabezal, o en W/cm^2 del cabezal, indica la rapidez con que se suministra la energía en 1 s, de manera que el exceso de potencia puede dañar el tejido y la escasez de potencia no consiga la acumulación energética suficiente como para estimular al sistema biológico.

Si el paciente manifiesta dolor o pinchazo durante la sesión, hay que reducir la potencia que se está aplicando y recalcular la dosificación. Si el objetivo es conseguir un efecto térmico y el paciente no lo manifiesta, se aumentará la potencia.

En procesos agudos se emplea poca potencia y en crónicos mucha potencia, en parte debido a la sensibilidad al dolor del paciente que también es diferente en estadios de agudeza o de cronicidad.

En la aplicación con exceso energético de ultrasonidos también aparece el denominado efecto de galvanopalpación descrito en otros capítulos.

La potencia influye en la penetración, de manera que a mayores potencias, mayor penetración. Las aplicaciones pulsadas con potencias de pico altas permiten penetrar mucho, aunque la potencia eficaz (por ser pulsada) queda reducida.

La potencia usada con 1 MHz es mayor que con 3 MHz. *Se sugiere que con 3 MHz se reduzca en una tercera parte el valor que se hubiera aplicado con 1 MHz.* La razón de esta reducción en la potencia se debe al hecho de que, puesto que con 3 MHz se penetra menos, habrá menor volumen de tejido para absorber la energía que se aplica.

Aunque no es la dosis, la potencia es uno de los parámetros más importantes que debe elegirse de forma correcta, pues permite que la energía aplicada se acumule, se disperse antes de acumularse o sea tanta que dañe los tejidos por saturación. Hay muchas sugerencias sobre los valores recomendados, pero en esta obra *se propone usar potencias que produzcan en el paciente sensación térmica sin generar molestias (al límite de la tolerancia).* Si se supone que el paciente es capaz de informar de las percepciones térmicas y de dolor por integridad de su sistema nervioso, se pueden indicar, como media, los valores de potencia que se describen a continuación en la **tabla 15-3**.

Cronometraje real de la aplicación durante la sesión

Si el porcentaje de absorción por los tejidos baja a determinados límites a causa del mal contacto con la piel, por el mal estado del gel conductor o se retira el cabezal, cesará la emisión de

Tabla 15-3. Valores medios de potencia ajustada de acuerdo con la superficie tratada

Superficie tratada en (cm ²)	Potencia en (W/cm ²)
5 (cabezal fijo)	0,5
30	1
60	1,5
90	2

Superficies superiores a 90 cm² se deben evitar o dividirse en sesiones diferentes, excepto que el equipo permita elevar la potencia por encima de 2 W/cm² en modo continuo.

ultrasonidos y el reloj que controla el tiempo de la sesión se detendrá hasta que las condiciones vuelvan a ser adecuadas. Este perfeccionamiento también conduce al establecimiento de una dosis considerada adecuada al tener más en cuenta la cantidad de energía recibida que la emitida.

Sobrecarga del cabezal

No debe mantenerse el aplicador trabajando en vacío, pues el aire no absorbe su energía, sino que se acumula en el cabezal hasta dañarlo. Con los sistemas de protección, antes mencionados, se evitan estos daños que, además, eran muy frecuentes en los viejos equipos. No obstante, el uso poco cuidadoso termina por deteriorar los cabezales y provocar pérdidas en su rendimiento.

Cuando el cabezal no libera su energía dentro de los límites considerados válidos (que fueron determinados por el fabricante), el equipo se protege mediante el corte de la emisión de forma instantánea y en el propio cabezal se activa un piloto luminoso que informa visualmente del inadecuado trabajo para que se intente corregir sobre la marcha.

Medidor de salida en el cabezal

Para comprobar si un cabezal se halla en buen estado o está deteriorado por el mal uso,

algunos aparatos están (o estuvieron) equipados con un detector de ultrasonidos a fin de indicar el adecuado funcionamiento y su potencia de emisión. Todo equipo que no lo incluya no garantiza que las dosis aplicadas coincidan con las deseadas (sobre todo, en aparatos con muchas horas de trabajo). Este sistema detector de la eficacia en el cabezal debería estar incluido en la normativa legal. En su defecto, puede apreciarse el comportamiento aproximado del cabezal, como a continuación se describe.

En los viejos equipos, se situaba el cabezal orientado hacia arriba, se aplicaban unas gotas de agua en la zona de emisión, se ponía a funcionar el aparato, se subía la potencia y se comprobaba cómo se pulverizaban las gotas de agua siempre que hubiese emisión de energía (Fig. 15-12). Para ser precisos en esta prueba, hay que comparar la pulverización con un equipo que se sepa que se halle en buen estado o recordar cómo lo hacía cuando no se sospechaban averías o envejecimiento en el aparato.

Sin embargo, este método no es válido en los equipos modernos o en aquellos que posean las protecciones antes indicadas. Si se desea controlar el buen funcionamiento del

cabezal en los de última generación y que, a su vez, no dispongan de detector (medidor) de ultrasonidos, se llevará a cabo como sigue (Fig. 15-2).

Se introducirá el cabezal dentro de una cubeta con agua de forma que el haz ultrasónico se oriente hacia el fondo (con una ligera inclinación) donde se ha situado una placa metálica para que refleje las ondas sonoras y vuelvan a la superficie formando un pequeño surtidor, más o menos intenso dependiendo de la potencia regulada. Si el tamaño y el aspecto del surtidor guardan relación directa con la potencia aplicada, ello indicará el buen estado de la pastilla piezoeléctrica y su calibración (Fig. 15-2).



Vídeo 15-3. Prueba de emisión de ultrasonidos

Dada la importancia del buen funcionamiento y del rendimiento del cabezal, la normativa indica que el equipo debe someterse a chequeos periódicos del fabricante, que dispone de elementos técnicos para ello y, sobre todo, del medidor de potencia. Dado que los medidores de potencia son de coste elevado, es interesante aplicar el ingenio para diseñar algún sistema de autoevaluación de los cabezales, sistemas que tal vez no sean precisos en los datos aportados, pero que lo son cuando se compara un cabezal en buen estado con otro deteriorado (Fig. 15-13 A).



Vídeos 15-4, 15-5 y 15-6. Molino de ultrasonidos, Medidor de potencias de ultrasonidos y Medida de potencia de ultrasonidos

Selector para varios valores de modo pulsátil

En los viejos aparatos, en realidad no se sabía qué características poseían los ultrasonidos aplicados como pulsátiles. En los modernos, se informa de los parámetros de cada posibilidad

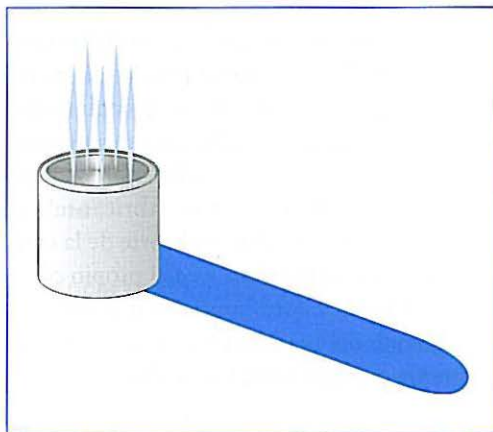


Figura 15-12. Viejo sistema para comprobar el funcionamiento del cabezal con unas gotas de agua que se volatilizaban. Hoy día no es una prueba válida debido a los sistemas de protección.

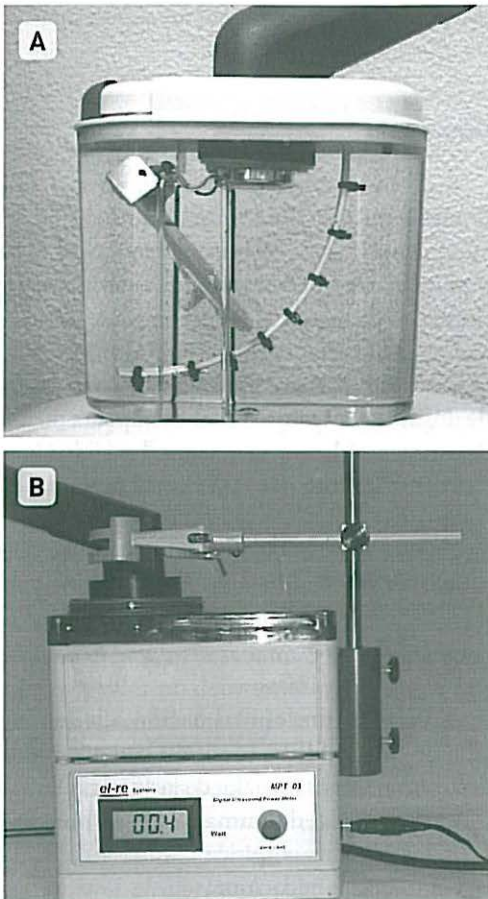


Figura 15-13. A) Prototipo de medidor de ultrasonidos autoconstruido, en el cual las cinco primeras bridas indican la potencia entre 0 y 2 W/cm², en pasos de 0,5. B) Medidor de potencia para cabezales de tipo profesional.

para trabajar con datos que vuelven a conducir al establecimiento del concepto de dosis, según la energía recibida en lugar de la energía emitida.

Como se ha explicado con anterioridad, en el modo pulsátil la potencia sufre un descenso en proporción inversa a la razón elegida entre tiempo de pulso y tiempo de reposo. En realidad, se trata de aplicar la consabida fórmula de:

$$W_{\text{(eficaz)}} = W_{\text{(de pico)}} \cdot \tau_{\text{(de impulso)}} \cdot F_{\text{(en Hz)}}$$

Sin embargo, los fabricantes han elegido otras metodologías de cálculo (Tabla 15-1).



Práctica 15-1

Se ajusta la emisión de 0,8 W/cm², se usa un cabezal de 5 cm², con modo pulsado en el ratio pulso:reposo de 1:4.

1. ¿Qué potencia emerge por todo el cabezal?
2. ¿A qué equivale en el sistema de fracción pulso/período?



Práctica 15-2

Se ha ajustado un modo pulsado en el sistema de ratio pulso:reposo a 1:3 en 100 Hz.

1. ¿Qué tiempos de pulso y de reposo le corresponden?
2. ¿En qué porcentaje se manifiesta la potencia?



Práctica 15-3

Se dispone de un equipo de ultrasonoterapia en que el modo pulsado se ajusta con los tiempos de pulso y los tiempos de reposo; el pulsado trabaja en 50 Hz y la potencia que se ajusta, se desea dejarla en el 40%. ¿Qué valores se ponen en el tiempo de pulso y en el de reposo, respectivamente?



Práctica 15-4

Se realiza el siguiente ajuste en la máquina: 1,3 W/cm² por la ERA de 5 cm² y por 1.

1. ¿Qué tipo de modo pulsado se está seleccionando?
2. ¿Qué valores numéricos se pondrían en el sistema de fracción pulso/período?

Superficie eficaz del cabezal

Otro factor que influye de forma decisiva en la potencia aplicada y, por supuesto, en la recibida es la superficie eficaz de emisión y tamaño del cabezal (ERA), pues se trata de una herramienta terapéutica que, en su parte metálica de contacto, contiene el elemento productor de ultrasonidos de tamaño menor que la placa metálica. Este dato, en centímetros cuadrados, se usará para la fórmula de la dosis.



Práctica 15-5

¿Cuántos W_t emitirán tres cabezales, en continuo, de 2,5 cm², de 5 cm² y de 10 cm² si se ha ajustado una potencia de 0,2 W/cm²?

2,5 cm² =

5 cm² =

10 cm² =

Superficie tratada

Ya se ha detallado con anterioridad que la superficie tratada se debe delimitar y medir para hallar los centímetros cuadrados que abarca. Además, en la fórmula que se planteará más adelante hay que incluir dos superficies: la



Práctica 15-6

Se sabe que potencia por tiempo es igual a trabajo en julios (J). Supóngase que se aplica una potencia por todo el cabezal de 8 W durante 500 s sobre una superficie corporal de 70 cm².

1. ¿Cuántos julios se han aplicado al finalizar los 500 s?
2. ¿Cuántos julios le han correspondido a cada cm²?

del cabezal y la tratada. *Las superficies tratadas no deben superar los 100 cm².*

Dosis real

Ésta no es una variable que, en general, se regule en los equipos de ultrasonoterapia, aunque debiera ser lo primero en ajustar y lo más importante. Más adelante se propone un prototipo en el cual se contempla este ajuste.

Los párrafos anteriores están introduciendo al lector de forma progresiva en el concepto de dosis. Con facilidad, el fisioterapeuta puede darse cuenta de que una zona de tejido puede recibir cantidades de energía muy dispares de unas aplicaciones a otras si no se tienen en cuenta adecuadamente los parámetros de potencia aplicada por todo el cabezal, tiempo de la sesión, superficie de la zona tratada y *la cantidad de energía que se desea que reciban los tejidos que deben tratarse.*

Al intentar una aproximación a la resolución de este problema (dosificar con precisión) desde los tiempos iniciales de la aparición de la ultrasonoterapia, de forma clásica se transmite, como fórmula empírica y la más precisa, la siguiente recomendación:

Aplicar 1 minuto con cabezal de 5 cm², a 1 W/cm² en modo continuo por cada 10 cm² de superficie de aplicación.

Esta sugerencia es bastante buena porque contempla las variables fundamentales, pero le faltan algunos matices y la formulación es de «matemáticas para simples».

Según esta vieja fórmula, el fisioterapeuta puede preguntarse: ¿cuántos julios recibirá cada centímetro cuadrado durante 60 s? A continuación se explica de la siguiente manera:

- Se dispone de una potencia de 1 W/cm² por 5 cm² de superficie eficaz del cabezal, que es igual a 5 W de todo el cabezal.
- La superficie de la zona tratada es 10 cm².

- El tiempo de funcionamiento es igual a 60 s:

$$5 \text{ W} \cdot 60 \text{ s} = 300 \text{ J}$$

$$300 \text{ J generados} / 10 \text{ cm}^2 \text{ de la zona tratada} = 30 \text{ J/cm}^2$$

Puede concluirse que la experiencia, el empirismo y los años de práctica han conducido a diversos autores a establecer como media una dosis de 30 J/cm². Así pues, *la dosis será la cantidad de energía recibida por cada cm² de superficie tratada al final de la sesión y expresada en J/cm².*

De todas formas, es necesario retomar el tema desde la base y preguntarse si una dosis de 20 a 50 J/cm² es buena, suficiente o excesiva. ¿Dónde está el límite de los efectos no deseados? ¿Es recomendable trabajar con potencias menores y aumentar el tiempo o disminuir el tiempo? Sin embargo, ya se aprecia que este valor no debe ser calculado, sino que hay que decidirlo basándose en la experiencia de resultados.

El primer paso que se está obligado a dar consiste en *definir con suficiente precisión un sistema de dosificación en lugar de trabajar con parámetros aleatorios*. A partir de ese punto, puede observarse, obtenerse estadísticas, elaborarse teorías, etc., pero mientras no se usen los ultrasonidos con suficiente profesionalidad, no se podrán hacer afirmaciones sobre sus efectos fisiológicos o terapéuticos.

Es el momento de desarrollar el análisis que conduce a la fórmula de dosificación que más adelante se propone. Si se aplica potencia durante un tiempo, se estará haciendo referencia a la ley de Joule, donde trabajo en julios = potencia en vatios por tiempo en segundos (Fig. 15-14). Dado que la cantidad de energía recibida por los tejidos depende del tiempo, de la superficie, de la potencia aplicada y de la *dosis que el fisioterapeuta desea depositar*, hay que utilizar la referida ley de la siguiente forma (Fig. 15-14):

A continuación se analiza el conjunto de la figura 15-14:

- En el triángulo de la figura 15-14 A se observa que los julios totales generados son iguales a la potencia por el tiempo, el tiempo igual a los julios entre la potencia y la potencia igual a los julios totales entre el tiempo. La potencia y los julios serán variables inalterables y no se podrán convertir en incógnitas. La única variable que podría ser incógnita es el tiempo.
- Sin embargo, hay que incluir en la fórmula la variable de dosis o julios recibidos en cada cm² y la variable de superficie tratada. En la figura 15-14 B, se ha decidido que cada centímetro cuadrado reciba 30 J. También se han medido 60 cm². La respuesta a la pregunta de la figura es el producto de la dosis por la superficie que sustituye a la J en la figura 15-14 C.

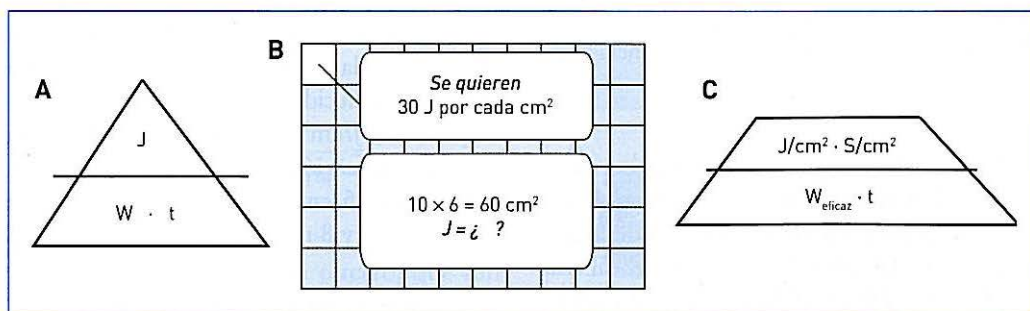


Figura 15-14. A) Ecuación de Joule. B) Se decide la dosis en cada cm² y se establece la superficie tratada. C) Se sustituyen los julios totales por el producto: dosis por superficie.

- Para ello se remite al lector a la [figura 15-14 C](#), en cuyo trapecio se han sustituido los julios totales por su expresión equivalente de J (en cada cm^2) $\cdot S$ (en cm^2), es decir, los julios recibidos en cada centímetro cuadrado por los centímetros cuadrados de la zona tratada. De esta forma, se mantiene la igualdad, pero se introduce el parámetro de la dosis. También se contará, a partir de ahora, con la potencia eficaz, previa aplicación de la [tabla 15-1](#) y otras consideraciones que pueden estar determinadas por la lectura eficaz de la potencia absorbida.

Al desarrollar los valores numéricos se obtiene lo siguiente:

- $J = \text{julios totales} = W \cdot t$.
- $W_t = \text{potencia del cabezal}$.
- $t = \text{tiempo en segundos}$.
- Dosis en $J_{(\text{cm}^2)} = J_{\text{totales}}/S_{(\text{cm}^2)}$.
- También, $J = J_{(\text{cm}^2)} \cdot S_{(\text{cm}^2)}$.
- Todas las variables de la [figura 15-14 C](#) son fijas e inamovibles, excepto el tiempo que puede pasar a ser incógnita.
- Entonces, como fórmula definitiva, se usará la siguiente:

$$t_{\text{segundos}} = \frac{\text{Dosis} \cdot \text{Superficie}}{W_{\text{eficaz}}} = \frac{J/\text{cm}^2 \cdot S (\text{cm}^2)}{W/\text{cm}^2 \cdot \text{ERA} \cdot \%}$$

Esto es, el tiempo de la sesión es igual a la dosis expresada en julios por cada centímetro cuadrado, por la superficie en centímetros cuadrados, partido entre la potencia eficaz de todo el cabezal.

Hay que darse cuenta de que el divisor de la fracción está formado por los parámetros que calculan la potencia eficaz, como la densidad de potencia del cabezal, el tamaño del cabezal o valor de la ERA y el factor de modo continuo o pulsado en tanto por ciento u otra forma equivalente ([Tabla 15-1](#)). Además, en caso de

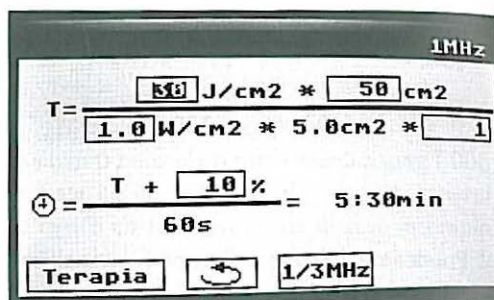


Figura 15-15. Pantalla de dosificación en un equipo de ultrasonoterapia. La fórmula superior es la de dosificación y la inferior es la de compensación.

considerar que la sesión sufrirá otras pérdidas en su rendimiento por malos contactos, deficiente reparto por la zona u otras influencias, a voluntad, puede compensarse con un pequeño aumento de tiempo valorado entre el 5 y el 20 % ([Fig. 15-15](#)). Asimismo, en el cálculo de la potencia eficaz (el divisor de la ecuación) puede estar matizado por el factor corrector de pulsado y por el inverso del factor si se desea compensar la pérdida de potencia que provoca el pulsado, como se describirá más adelante.



Vídeo 15-7. Aplicación de ultrasonidos

ALGUNOS EJEMPLOS

Primer caso

En este ejemplo no se utiliza la fórmula de la manera exacta en que se acaba de explicar, sino que se halla la dosis de una terapia. De modo didáctico todos los ejemplos son posibles, pero en la práctica terapéutica lo primero que hay que decidir es la dosis.

¿Cuántos J/cm^2 recibirá un paciente con la siguiente aplicación de ultrasonidos continuo: $1,5 \text{ W}/\text{cm}^2$; 5 cm^2 del cabezal; 150 cm^2 de zona tratada, y 8 minutos de sesión (480 s)?:

$$\text{Dosis} = \frac{W_{\text{cm}^2} \cdot \text{ERA} \cdot t}{\text{Superficie}} = \frac{1,5 \cdot 5 \cdot 480}{150} = 24 \text{ Jcm}^2$$

Si la aplicación fuese pulsátil, se necesitaría corregir con el correspondiente coeficiente de reducción en la potencia. Además, 150 cm² es demasiada superficie para un correcto tratamiento y la potencia es baja para dicha superficie.

Segundo caso

Ahora se usará la fórmula clásica de dosificación, pero es importante comparar los datos obtenidos de este caso (en modo pulsado) con los del siguiente (en modo continuo).

¿Cuánto tiempo es necesario para una sesión de ultrasonidos pulsátil según las siguientes características: razón pulsátil = 2:8 (20 % de factor ciclo); potencia = 1,5 W/cm²; dosis = 30 J/cm²; superficie = 60 cm²; ERA del cabezal = 5 cm²; $W_{ef} = 1,5 \text{ cm}^2 \cdot 5 \text{ cm}^2 \cdot 20 \% = 1,5 \text{ W}$ en todo el cabezal, y J totales = dosis por superficie = 30 · 60 = 1.800 J?:

$$t = \frac{\text{Dosis} \cdot \text{Superficie}}{W_{eficaz}} = \frac{30 \cdot 60}{1,5 \cdot 5 \cdot 20 \%} = 1.200 \text{ s} \quad (20 \text{ minutos})$$

Tercer caso

¿Cuánto tiempo es necesario para una sesión de ultrasonidos continuo según las siguientes características: potencia = 1,5 W/cm²; dosis = 30 J/cm²; superficie = 60 cm²; ERA del cabezal = 5 cm²; $W_{ef} = 1,5 \cdot 5 \text{ cm}^2 \cdot 100 \% = 7,5 \text{ W}$, y J = dosis por superficie = 30 · 60 = 1.800 J?:

$$t = \frac{\text{Dosis} \cdot \text{Superficie}}{W_{cm^2} \cdot \text{ERA} \cdot \%} = \frac{30 \cdot 60}{1,5 \cdot 5 \cdot 100 \%} = 240 \text{ s} \quad (4 \text{ minutos})$$

Del segundo ejemplo al tercero, que son semejantes, salvo que el segundo es en modo pulsátil y el tercero en modo continuo, los tiempos son de 20 minutos frente a 4 minu-

tos, razón que provocará las diferencias tan marcadas en el tiempo de la sesión. Por ello, nunca debe ajustarse el mismo tiempo de sesión en modo continuo que en modo pulsado.

Corrección de potencia con el inverso multiplicativo

Cuando se pretenda aplicar ultrasonoterapia en modo pulsado, debería mantenerse la potencia eficaz o la que se hubiera introducido en modo continuo. Con ello se compensa la pérdida energética que sufre el pulso en sentido horizontal, con aumento de la altura en sentido vertical (Fig. 15-16):

- Si se ha reducido el tiempo de pulso a la mitad (50 %), debe elevarse la potencia al doble.
- Si se ha reducido a 1/3 la anchura, no se elevará a 2/3, sino que se hará a 3/2 (*al inverso multiplicativo*).
- Si se ha acortado a 2/5, se elevará a 5/2, y así sucesivamente.

Así pues, para calcular el divisor de la fórmula de dosificación (la potencia eficaz por todo el cabezal), tendrá que matizarse de la siguiente manera:

$$W_{eficaz} = W/cm^2 \cdot (y/x) \cdot \text{ERA} \cdot (x/y)$$

Siendo: (x/y) = factor reductor de pulsado y (y/x) = inverso multiplicativo del factor reductor.

De esta guisa, si se desea saber la posible compensación de potencia cuando se aplique

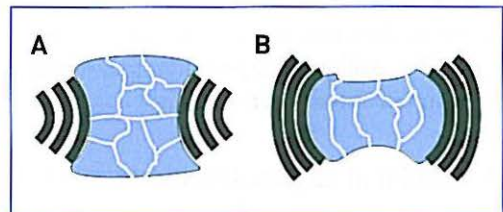


Figura 15-16. Efecto de cavitación por compresión [A] y por vacío [B].

ultrasonoterapia pulsátil, la fórmula definitiva quedaría de la siguiente manera:

$$t = \frac{\text{Dosis} \cdot \text{Superficie}}{W/cm^2 \cdot (y/x) \cdot ERA \cdot (x/y)}$$

Se sustituye el porcentaje por x/y en modo fracción y se agrega la posible corrección de potencia con el inverso multiplicativo de x/y (y/x). En caso de no desear la compensación de potencia, lógicamente no se agrega la fracción y/x .

Un cálculo frecuente consiste en averiguar el nuevo valor de potencia al considerar el factor reductor. Para este cálculo se multiplica el que se pondría en modo continuo por el inverso del factor reductor de pulsado.



Práctica 15-7

Se supone un caso en el que se indicaría la potencia de $0,7 W/cm^2$, en modo continuo. Sin embargo, en realidad será un modo pulsado a $1/3$. Si se desea mantener la potencia eficaz, ¿a cuántos W/cm^2 habrá que retocar el potenciómetro?

Existen otros factores que van a influir de manera más o menos decisiva en la sesión y sus resultados, como: profundidad de penetración, zona de conducción y zona de absorción, reflexión de parte del haz, refracción de parte del haz, ondas estacionarias, divergencia del haz, nódulos de intensidad, dispersión por toda la zona y algunos más, de menor importancia.

El texto va a detenerse en éstos para conocer su explicación física y tenerlos en cuenta cuando se aplique ultrasonoterapia, aunque no sean tan decisivos en la dosis.

Profundidad de penetración

Se considera como cierto que las ondas de ultrasonidos alcanzan una penetración de

varios centímetros: de 3 a 5 cm según unos autores, y hasta 10 cm o más según otros, aunque su poder de penetración cae en progresión exponencial. Las causas de la caída en su penetración se deben: a la absorción de la energía según avanza por los tejidos (lógicamente, en unos más que en otros), a la frecuencia de 1 MHz porque penetra más que la de 3 MHz y a la potencia ajustada. Desde la utilización de los ultrasonidos como técnica de ecografía, pueden aclararse muchas dudas que se planteaban frente a la penetración o el comportamiento de los diferentes tejidos.

En ecografía, los ultrasonidos siempre son pulsátiles. Además, se necesitan conocer las condiciones de ratio pulso:reposo, la potencia usada y comparar con la frecuencia de 1 o 3 MHz.

Dado que son ondas sonoras, los técnicos que diseñan los equipos de ecografía miden la potencia en decibelios (dB) mientras que los fisioterapeutas usan vatios. La fórmula para traducir vatios a decibelios es como sigue:

$$\text{Potencia (en dB)} = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{\text{Potencia (en W)}}{0,00002} \right)$$

Para la técnica de exploración por ecografía se emplea una gama de frecuencias de portadora que asciende por encima de 3 MHz. Sin embargo, puede establecerse una comparación en los mismos parámetros, por ejemplo, al realizar una ecografía con ultrasonidos en modo pulsátil: 50 Hz de frecuencia pulsátil, 1 MHz de frecuencia portadora y unos 75 dB para penetrar alrededor de 15 cm. Si en los tratamientos de fisioterapia se usa 5 W de modo pulsátil (en todo el cabezal), ¿se penetrará mucho o poco?

Se calculan de forma previa los decibelios que se aplican:

$$\text{Potencia (en dB)} = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{5}{0,00002} \right) = 107,96 \text{ dB}$$

De considerar que 75 dB penetran alrededor de 15 cm, por regla de tres, ¿cuánto penetrarán 107,95 dB? Esto demuestra que, si en ecografía se consigue penetrar a cierta distancia, con las potencias superiores usadas en fisioterapia la penetración será mucho mayor.



Vídeo 15-8. Profundidad de los ultrasonidos

Queda implícito que la potencia aplicada influye de forma directa en la profundidad alcanzada. Así pues, cuando se pretenda conseguir profundidad en las aplicaciones de fisioterapia, se considerará la frecuencia de 1 MHz y la potencia. La potencia de pico o alcanzada en cada pulso es importante para la penetración, aunque su potencia media resulte baja por utilizar un ratio pulso:reposo baja, como 1:9.

En resumen, si se pretende alcanzar más penetración, existen tres formas de conseguirlo: usando 1 MHz en lugar de 3 MHz, elevando la potencia, y pasando a modo pulsado con aumento de potencia de pico para mantener la potencia eficaz.

Zona de conducción y de absorción

En ecografía se utiliza la vejiga repleta de orina como ventana conductora para acceder a tejidos posteriores a ésta porque la vejiga se comporta como muy buena conductora sin absorber ni reflejar ondas sonoras. Ello indica que se atacará a distintos tejidos con diferentes niveles de conductividad o de absorción y en los primeros centímetros se producirá el efecto de conducción y, en profundidad, el de absorción y transformación de la energía ultrasónica en otra.

El efecto de conducción se concentra más en el centro de la superficie aplicadora del cabezal debido al nódulo de máxima que se genera. Asimismo, a mayores potencias, mayor zona de conducción. Con 1 MHz, la zona de conducción será mayor y la absorción será más profunda.

La utilización de potencias medias altas provoca que la transformación de una energía en otra se consiga de forma rápida y pueda saturar a los tejidos y dañarlos (fenómeno detectable con el pinchazo ultrasónico cuando se dañan las terminaciones nerviosas). Por ello, muchas escuelas recomiendan potencias tendentes a la baja, lo cual implica un aumento en el tiempo de la sesión.

Asimismo, aparecen tendencias que pretenden dosificar los ultrasonidos mediante un sistema estacionario o semiestacionario, basado en aplicar, de forma previa, mucha potencia «a cabezal quieto» hasta que aparezca el pinchazo doloroso. Según el tiempo transcurrido desde la aplicación hasta el momento del dolor, se establecen tablas indicadoras de la reducción en potencia aplicable al mover el cabezal. Estos intentos para mejorar los sistemas de dosificación son loables y dignos de consideración, pero se debe señalar en este caso que el estímulo o pinchazo doloroso aparece antes o después, según la reacción inflamatoria de la zona, pues, de hecho, esta técnica se utiliza para localizar tejidos sometidos a patología. Además, si no se considera la superficie tratada, la energía depositada o el tiempo de la sesión, el sistema no será válido para dosificar.

Reflexión

En el haz de ultrasonidos, al pasar de un medio a otro (zona de interfase), por su diferencia de densidad se refleja parte de él y, por consiguiente, cuanto más homogéneos sean los medios, menor porcentaje de reflexión aparecerá.

Refracción

Al igual que ocurre con la reflexión y, por los mismos motivos, parte del haz cambia de sentido en un ángulo determinado.

Efecto de cavitación

En los puntos y planos donde el haz está obligado a cambiar de tejido coinciden los si-

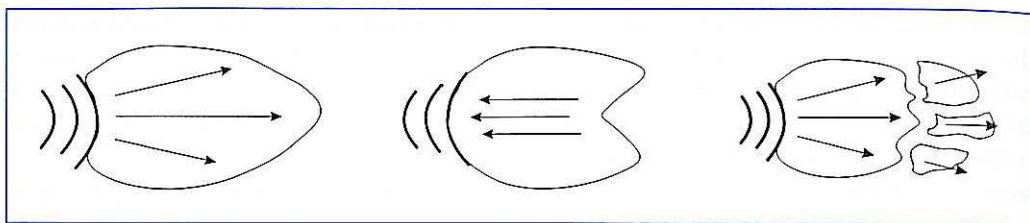


Figura 15-17. Las ondas sonoras tienen un efecto de empuje y de retroceso que deforma las gotas de agua a modo de colchón, de manera que al superar cierta fuerza en la oscilación las gotas de agua se fragmentan en gotículas.

guientes fenómenos: haz de incidencia, cierto componente reflejado, cambio de trayectoria por refracción y cambio de longitud de onda, de forma que en unos momentos podría aparecer concentración o sumación de energía mecánica, la cual causaría destrucción de tejidos por exceso de compresión o por exceso de succión (cavitación), mientras que en otros momentos unos haces pueden llegar a anular a otros (Fig. 15-17).

Ondas de retorno

Existe cierta polémica sobre la influencia de las ondas de rebote generadas por el cabezal, emitidas hacia su parte posterior, ondas que recibiría el terapeuta.

Dependiendo de los distintos autores, de la experiencia de los profesionales y de los fabricantes, se encontrarán opiniones diversas, unas que procuran restar importancia al tema mientras que otras tienden a exagerarlo.

Es cierto que las ondas se generan en ambos sentidos: en uno se absorben y se conducen a otro medio (el paciente), mientras que hacia su parte posterior la energía cinética generada se encontrará con aire, con materiales plásticos del cabezal (se tienden a evitar los metales), con dispositivos electrónicos internos del cabezal, con materiales absorbentes dispuestos para esta función, etcétera.

Algunos fabricantes consideran esta cuestión como algo serio y ofrecen las medidas aplicadas, en tanto que otros las eluden.

La experiencia cotidiana conduce a afirmar que ciertos terapeutas que aplican ultrasonidos con frecuencia sufren dolores en la mano y la muñeca, los cuales, de manera intuitiva, tratan de resolver con guantes o acolchando los mangos de los cabezales o recubriéndolos con gomaespuma, con buenos resultados.

Es importante, a la hora de la adquisición de los equipos de ultrasonidos, considerar la protección que el fabricante ha aplicado en la construcción. Y debe solicitarse a los fabricantes que revisen la tendencia a diseñar los cabezales sin mango aplicador, pues un mango aplicador formado por material bien elegido evitaría el retorno de las ondas posteriores.

DOSIS RECOMENDADAS

El enfoque de dosificar cuantificando la energía recibida por el paciente en J/cm^2 (sin olvidar la adaptación de otras variables, como la potencia) es el sistema más científico, no porque sea un invento novedoso, sino porque simplemente se toma de la física, pues también es el sistema usado en la aplicación de láser.

Hasta este punto en esta obra se propone partir de una dosis media de unos $30 \text{ J}/\text{cm}^2$ (por debajo de 30 para procesos agudos y por encima para los crónicos). Este valor se decide porque parte de parámetros muy demostrados de forma empírica. Sin embargo, por la práctica y la experiencia terapéuticas de compañeros que, por lo general, aplican ultrasonidos en los

pacientes con buenos resultados, se sugiere superar esta cantidad de 30 J/cm^2 y situar dicha media entre 40 y 50 J/cm^2 .

En esta técnica como en otras, las dosis bajas producen una respuesta terapéutica moderada, pero ello implica repetir muchas sesiones. Sin embargo, si se elevan las dosis, las respuestas son más llamativas y eficientes, con la consiguiente rapidez en la evolución del tratamiento. Así, el autor ha comprobado la efectividad en casos de espólón calcáneo (entesisitis de la fascia plantar) con 80 J/cm^2 .

Debe recordarse que, si la dosis fuera excesiva, el paciente manifestará molestias durante las horas siguientes al tratamiento. Si la dosis es escasa, el paciente no manifestará respuesta alguna. Además, cuando la potencia es alta, el paciente manifiesta molestias durante la sesión por exceso de calor o dolor; cuando es baja, no siente nada, y cuando es correcta, el paciente debe referir cierto nivel térmico.

En cuanto a la dosificación, debe tenerse en cuenta lo siguiente:

- En procesos agudos, dosis y potencias por debajo de la media.
- En procesos crónicos, dosis y potencias por encima de la media.
- En la práctica cotidiana, se dedicarán las dos o tres primeras sesiones a adecuar la dosis y la potencia al paciente.
- Asimismo, según evoluciona el proceso, se revisarán y se retocarán la dosis y la potencia.

Otro factor que influye en los valores de dosificación es el nivel de respuesta biológica que cada uno (o según tendencias) considere adecuado en los pacientes, es decir:

- Una tendencia considera que nunca se debe provocar respuestas de molestias ni aumento de la inflamación en el paciente.
- Mientras tanto, otra tendencia considera que, si no se provocan reacciones biológicas

(aunque impliquen dolor y respuesta inflamatoria), la terapia habrá sido insuficiente.

- En la primera tendencia, las dosis son bajas en tanto que en la segunda las dosis son altas.

Muchos de los trabajos publicados (y considerados científicos) que tratan de aportar experiencias y resultados terapéuticos no se pueden trasladar al sistema de dosificación que se propone en este capítulo, porque suelen faltar variables como la característica del modo pulsado, la superficie tratada, la superficie del cabezal u otras. Además, también se van publicando algunos trabajos que consideran la dosis en J/cm^2 , aunque se percibe cierta resistencia a utilizar esta forma de dosificación (entre alumnos y profesionales) debido, en realidad, al esfuerzo intelectual que implica dedicarse a estudiar y comprender las interrelaciones entre todas las variables que se combinan en esta terapia.

EFFECTOS SOBRE EL ORGANISMO

Quando se hacía referencia a la energía electromagnética (sobre todo, de alta frecuencia), se aclaraba que la energía aplicada a la materia y, en este caso, al organismo se conduce, se absorbe y se transforma en los tejidos. Cuando se aplican ultrasonidos, se está utilizando energía cinética, la cual se conducirá, se absorberá y se transformará en otra energía de acuerdo con la impedancia de los tejidos y las características de potencia, frecuencia y forma de aplicación.

Los ultrasonidos generan dos efectos fundamentales o primarios: mecánico y térmico.

Si se aplican ultrasonidos continuos, el efecto mecánico consiste en la vibración a que están sometidos los tejidos por conducirlos. Si la vibración se realiza sin oposición de resistencia (entrando los tejidos en resonancia), los efectos fisiológicos casi no existirán. Sin embargo, si la oscilación de los tejidos (a 1 o 3 MHz) encuentra resistencia a la deformación y conducción, se generará energía térmica por roce,

aunque no tanto en roce intertisular, sino que, sobre todo, será por roce intermolecular o agitación del medio electrolítico de los líquidos intersticiales e intracelulares, tanto del agua como de los solutos en ella contenidos.

El agua en las disoluciones se comporta como disolvente, es decir, iones de carga positiva, por un lado, e iones de carga negativa, por el otro, se unen a otras moléculas de los solutos o se enlazan entre sí para formar racimos moleculares de H^+ , OH_3^+ y OH^- hasta componer gotas de agua libre, cohesionadas por la fuerza eléctrica de la estructura arracimada. Estas gotas de agua pueden ser mayores o menores según la abundancia de otros iones. Sin embargo, si estos «racimos moleculares» (gotas de agua) se someten a vibración ultrasónica, se dividirán, se desaglutinarán, se dispersarán en pequeñas gotículas que conferirán al disolvente mayor poder para dispersar otras moléculas aglutinadas entre sí o cristalizadas en su ambiente de disolución (Fig. 15-18).



Vídeo 15-9. Viscoelasticidad

Además, cuando las disoluciones se hallan sobresaturadas de uno o varios solutos, éstos se aglutinan para formar sus propios racimos (deficitarios en agua), por lo que tienden a provocar la sedimentación y la coagulación (Fig. 15-19). Si estas cadenas moleculares o cristales con tendencia al estado de gelatina reciben vibración ultrasónica, se desmoronarán y se dispersarán por el ambiente de la disolución.

La agitación de las disoluciones cargadas de electrólitos desencadenará aumento del movimiento browniano y la aceleración de esta actividad generará calor, tendencia al estado de disolución fluida y aumento de las posibilidades de nuevas reacciones electroquímicas.

El calor generado por transformación de dicha energía cinética en el interior de los tejidos suele quedar en límites subliminales para los termorreceptores o alcanzar un nivel algo

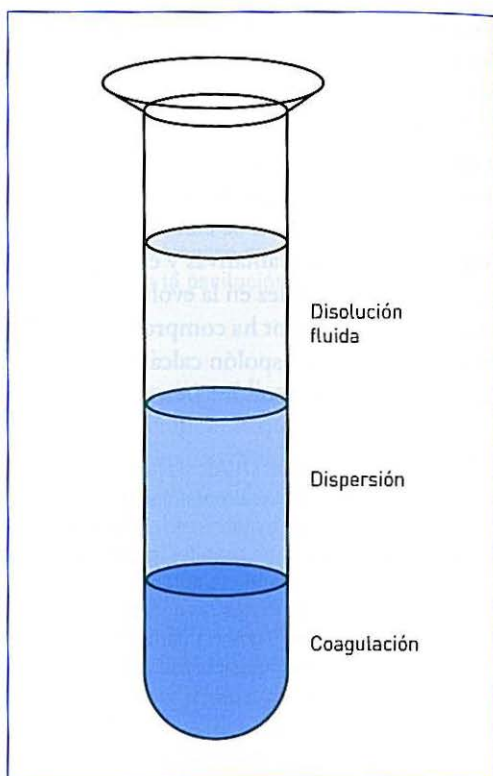


Figura 15-18. Las disoluciones orgánicas pueden encontrarse en los tres estados. El estado de coagulación debe dispersarse y disolverse mediante la aplicación de ultrasonidos.

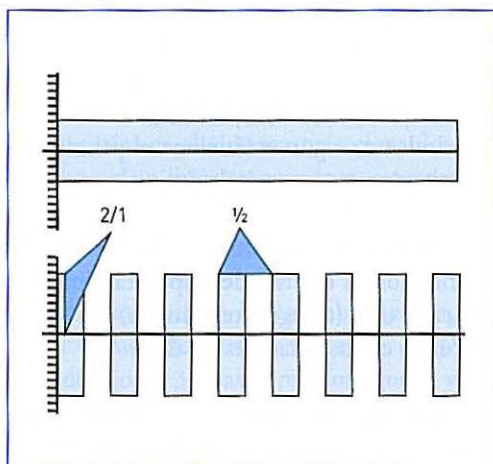


Figura 15-19. En el modo pulsado se pierde eficacia en el sentido horizontal y hay que compensarla en el sentido vertical.

supraliminal, dependiendo de la potencia, superficie de aplicación y tiempo. Por ello se discute con frecuencia el efecto térmico de los ultrasonidos. Sin embargo, hay que dejar claro que, siempre que se aplique una energía a cualquier materia, ésta generará o transformará parte de la energía aplicada en térmica (de acuerdo con la física).

Si la aplicación es de ultrasonidos pulsátiles, el efecto propio del modo continuo se reducirá en un porcentaje importante (Tabla 15-1), pero se inyectarán 50 o 100 modulaciones por segundo, lo que generará una nueva vibración de 50 o 100 veces por segundo, con efectos de mayor componente de roce tisular, deformación celular y deformación del colágeno.

La vibración de 50 Hz está producida por un clásico vibrador eléctrico para masaje conocido por todos (conectado de forma directa a la red eléctrica de 50 Hz). Si se desea dar importancia y fuerza a las modulaciones o pulsos de 50 o 100 Hz (según elección), habrá que tener muy en cuenta el aumento de la potencia de los pulsos o de pico porque la eficaz se reduce (Fig. 15-16).

En resumen, los ultrasonidos continuos generarán roce y calor en las disoluciones contenidas entre los elementos fijos mientras que los ultrasonidos pulsátiles generarán roce y calor en los elementos fijos que contienen a las disoluciones.

Se aplicará la misma energía si se practica una sesión con ultrasonidos continuos a una potencia X que si se practica con el doble de potencia, pero en modo pulsátil con un ratio pulso:reposo de 1:1 (50 % de ratio; Fig. 15-16). Además de conservar la misma eficacia como ultrasonidos continuos, se superpone el doble efecto del modo pulsátil. También, al regular el modo pulsátil con más potencia de pico, se conferirá más profundidad de penetración a la aplicación.

Otro tercer efecto conseguido con la aplicación de ultrasonidos es el generado

por el masaje del cabezal sobre la zona. Este fenómeno es tan importante y sus efectos terapéuticos específicos tan sobresalientes que, en multitud de ocasiones, los resultados positivos o negativos de una sesión de ultrasonidos pueden quedar camuflados o alterados.

Como consecuencia de los tres efectos, se produce una serie de reacciones en el organismo que a continuación se especifican.

Aumento del movimiento browniano y calor

El ambiente electrolítico de los líquidos intersticiales (Fig. 15-20) tiende a coagularse porque se halla sometido a:

- Procesos edematosos.
- Procesos inflamatorios cronicados.
- Ambientes intersticiales atrapados y retenidos por contracturas musculares.
- Líquido intersticial atrapado y contenido en redes de colágeno (celulitis).
- Procesos metabólicos que tienden a generar gelatinización por coagulación o sedimentación de electrolitos del medio.

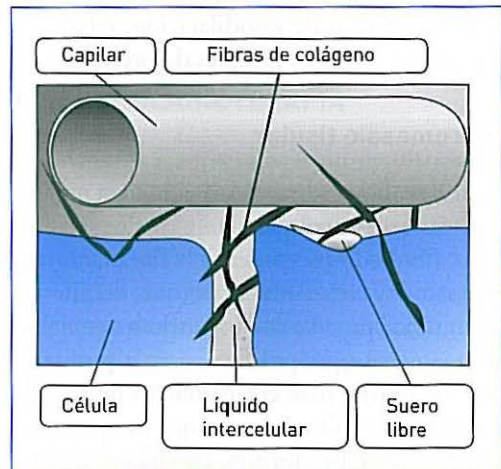


Figura 15-20. El ambiente intersticial debe ser fluido para permitir los intercambios iónicos.

Los ultrasonidos continuos producen un «batir electrolítico» que diluye los procesos de gelatinización hasta conseguir de nuevo un ambiente de disolución, donde se favorecerán:

- Los intercambios iónicos.
- El ascenso de la temperatura.
- La nutrición celular.
- La mejora del nivel de polarización de membrana.
- El metabolismo más activo.
- La liberación de sustancias generadoras de dolor o respuesta inflamatoria.
- La mejora de la circulación linfática al fluidificar la linfa.

Parte del calor generado se pierde al refrigerarse mediante el gel transmisor, en general frío, o al secar la piel humedecida por el gel o, tal vez, el alcohol utilizado para su limpieza; por ello, es frecuente que la zona tratada quede fría. Este estímulo anula respuestas neurovegetativas que se hubieran desencadenado por el supuesto efecto térmico.

Es muy interesante aplicar de inmediato de 5 a 10 minutos de rayos infrarrojos sobre la zona para anular la refrigeración superficial e intentar compensar y reforzar las respuestas neurovegetativas de vasodilatación, relajación muscular y alivio de posibles dolores.

Micromasaje tisular

Si el ambiente de determinada zona orgánica se encuentra indurado, empastado, gelatinizado, fibrosado (al contener la linfa de forma edematosa y coagulada) es porque, después de un anterior proceso inflamatorio no resuelto, el organismo opta por favorecer la proliferación de fibrina para crear una red de colágeno en las tres dimensiones, que atrapa en su interior elementos formes, conductos circulatorios, terminaciones nerviosas y líquidos que los rodean (es decir, celulitis).

Los ultrasonidos pulsátiles generan un micromasaje sobre los elementos formes, lo que produce movilización repetitiva entre ellos hasta liberar unos de otros o aumentar la elasticidad del colágeno para permitir la movilidad y el desplazamiento de líquidos atrapados en la red.

Si se palpan tejidos fibrosados, dolorosos a la deformación, empastados y con ligero proceso inflamatorio, tal vez, lo más lógico sería aplicar, en primer lugar, parte de la sesión con ultrasonoterapia pulsátil para tratar de elasticificar la fibrosis, pasando después a una segunda parte en modo continuo, destinada a la fluidificación del ambiente electroquímico y sus consiguientes efectos metabólicos.

Si la palpación es de tipo edematoso, blando, fácil de deformar, con fovea, sin fibrosis, se recomienda la indicación de ultrasonidos continuos para disolver los líquidos estancados y densificados, pero sin el «continente» de red fibrosa.

Es normal encontrarse etapas intermedias entre ambas situaciones extremas, por lo cual hay que saber escoger la metodología más eficaz:

- Unas veces, sólo pulsátil, con mayor o menor componente de ultrasonidos en modo continuo.
- Otras veces, sólo continuo.
- En la mayoría de ocasiones se debería dividir la sesión en dos o tres modalidades y buscar distintos efectos de forma sucesiva y atendiendo a una estrategia que se considere adecuada a la fisiopatología del proceso.

No puede olvidarse que los ultrasonidos pulsátiles pierden potencia eficaz o componente de continuo, situación que debe compensarse con el aumento de potencia de pico. Cuanto mayor sea la razón entre pulso y reposo, mayor será la compensación de potencia. Algunos equipos aplicadores de ultrasonidos compensan de forma automática esta pérdida al pasar de modo continuo a modo pulsátil sin modificar el mando regulador de la potencia.

Esta forma de funcionamiento de ciertos equipos ha llegado a provocar la polémica de que «los ultrasonidos pulsátiles son más potentes que los continuos». Sin embargo, nada más lejos de la realidad, siempre que se parta de la misma potencia tanto para el modo continuo como para el pulsátil.

Masaje del cabezal

En procesos patológicos muy concretos puede aplicarse el cabezal sin desplazamiento «a cabezal fijo», pero es más habitual establecer un barrido por la zona destinada y calculada como superficie de tratamiento.

Si se masajea o se amasa con las manos una zona sometida a proceso patológico (sobre todo, con alteraciones crónicas o subagudas), cualquier fisioterapeuta tiene claros los efectos terapéuticos del referido masaje.

Si, además de los efectos propios de las ondas ultrasónicas, se masajea la zona (Fig. 15-21), se sumarán efectos de:

- Elastificación de los tejidos.
- Liberación de tegumentos.
- Mejora circulatoria por masaje evacuatorio en los vasos de la zona (tanto sanguíneos como linfáticos).

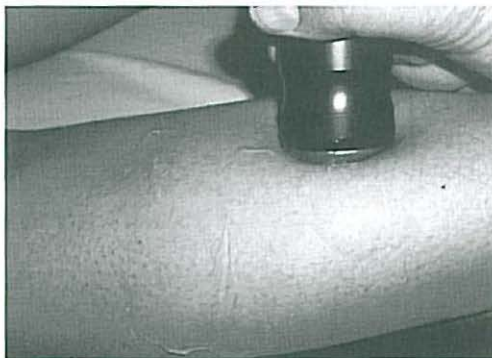


Figura 15-21. Cuando el cabezal se traslada sobre los tejidos blandos los deforma, los desplaza y provoca el efecto terapéutico propio del amasamiento.

- Estímulo de los mecanorreceptores y exteroceptores que «pueden» inhibir el dolor (siempre que el nivel de inflamación no sea elevado).
- Relajación muscular (si los ultrasonidos se aplican sobre músculos contracturados).

Cuando el proceso inflamatorio es muy agudo, tanto que la palpación se convierte en dolorosa, al aplicarlos se hará de forma subacuática, mediante una bolsa de agua o, de manera directa con suavidad, poca presión y sin tener en cuenta el masaje y la deformación de tejidos al paso del cabezal. Sin embargo, en procesos crónicos, fibrosados, contracturas musculares debe prestarse atención al hecho de considerar el cabezal como una prolongación de la mano del fisioterapeuta para amasar la zona con aplicación de presión y trazado que se considere conveniente.

Sonoforesis

Se tiene en cuenta un aumento de la penetración del radical medicamentoso que se emplea (en sustitución del gel típico) y se discute sobre él, como deslizante para el cabezal y transmisor de los ultrasonidos. Este posible efecto requiere una demostración mejor.

METODOLOGÍA DE TRATAMIENTO CON ULTRASONOTERAPIA

Primero. Para la aplicación de ultrasonoterapia es necesario llevar a cabo de forma previa una exploración palpatoria, porque el fisioterapeuta tratará de averiguar el estado de los tejidos y aprender a detectar la situación patológica de éstos para establecer la estrategia de tratamiento adecuada. Así, pueden encontrarse circunstancias como:

- Tejidos densos, pastosos y fibrosos, pero no inflamados: el proceso requiere dosis y potencias altas para provocar la acumula-

ción energética y su consiguiente respuesta metabólica con ultrasonidos en modo continuo.

- Musculatura contracturada, crónica, con tensión miofascial y dolor profundo, pero tolerable: en este caso también se aplicarán dosis altas, potencias altas que traten de generar calor y fluidificar el medio intramuscular en modo continuo.
- En roturas tisulares pueden hallarse procesos agudos, con calor, dolor, tacto elástico y derrame blando seguramente sanguinolento que debe tratarse con dosis bajas, potencias bajas (tolerables), mediante una bolsa de agua, y buscando la fluidificación del derrame con el modo continuo.
- La misma rotura puede encontrarse en un estadio cicatricial fibrosado, duro, tenso, adherido, muy cronicado y con poco dolor. El objetivo será desbridar y elasticificar el tejido cicatricial con dosis muy altas, potencias al límite de la tolerancia, con unas sesiones en modo continuo y otras en modo pulsado con potencia eficaz bien compensada con la de pico.
- Imagine una fibrosis capsular de cadera, que se pretende tratar con ultrasonoterapia. Por lo general, es una zona profunda con bastante tejido intermedio que debe superarse con 1 MHz, mucha potencia, en modo pulsado al 50 % y aumentando la potencia de pico. La dosis también será alta.
- Dolor en la cara interna de la rodilla sobre el cóndilo interno que obliga a diferenciar si el proceso es de periostitis o es un edema óseo del cóndilo. En caso de decidirse por la periostitis, se programarán 3 MHz, ultrasonidos en modo continuo con dosis media (matizada por la agudeza o cronicidad), la potencia se reducirá una tercera parte sobre la aplicada en modo continuo con 1 MHz. Sin embargo, si se decide tratar el hueso por un posible edema óseo, se aplicará 1 MHz, en modo continuo o pulsado al 50 %, po-

tencia alta y calculada de acuerdo con la superficie, dosis alta y, muy importante, se tratará que la orientación del cabezal sea lo más perpendicular posible a la superficie ósea del cóndilo tratado para evitar reflexiones.

Segundo. Una vez que se haya realizado la exploración y se haya planificado la estrategia de tratamiento, se decide la dosis que debe depositarse en J/cm^2 y se delimita la zona que debe tratarse con su correspondiente medida para saber los centímetros cuadrados de superficie tratada.

Tercero. Con esa medida se decide la potencia que le correspondería según la [tabla 15-3](#). Si se encuentra tejido blando suficiente, se elige 1 MHz, pero, si es superficial, se eligen 3 MHz y su correspondiente reducción de potencia.

Cuarto. De acuerdo con lo explorado, se decide si está más indicado el modo continuo o el modo pulsado, o un modo pulsado con fuerte componente de modo continuo con un ratio del 50 % o superior.

Quinto. Se comprueba la ERA del cabezal, se compensa con la potencia de pico para mantener la potencia eficaz si es modo pulsado y se calcula el tiempo de sesión en segundos (que tendrá que pasarse a minutos por ser el rango habitual en que trabaja el cronómetro de la máquina).

Una vez que se han establecido y se han ajustado todos los parámetros, se procede a la aplicación.

Algunos cálculos de dosificación

Debe recordarse que la fórmula para dosificar es como sigue:

$$t = \frac{\text{Dosis} \times \text{Superficie}}{W/cm^2 \times (y/x) \times ERA \times (x/y)} = \frac{t}{60} = \text{minutos}$$

El *factor corrector de pulsado* (x/y) se usará en modo de fracción para facilitar los cálculos. Así, multiplicar por 1 o por 1/1 equivale a continuo, mientras que 1/2, 1/4, etc., indica que se trabaja en modo pulsado. ¿Qué es (y/x)? Es el *inverso multiplicativo* del factor corrector de pulsado, que se aplicará en los siguientes ejercicios.



Anexo 15-1. Hoja de cálculo para dosificar ultrasonidos



Práctica 15-8

Supóngase que se trata una bursitis subdeltoidea con 1 MHz, efecto del modo continuo, quieren depositarse 40 J/cm², se delimita una zona de 60 cm², potencia de 1,5 W/cm² y cabezal de 5 cm², ¿cuánto tiempo durará la sesión?

$$T = \frac{\text{Potencia} \times \text{Superficie}}{\text{Dosis}} = \frac{1,5 \text{ W/cm}^2 \times 60 \text{ cm}^2}{40 \text{ J/cm}^2} = \frac{90}{40} = 2,25 \text{ minutos}$$



Práctica 15-9

El paciente presenta un espolón calcáneo en la cara plantar, a cabezal fijo, con cabezal de 5 cm² (por lo tanto, la superficie será 5 cm²) con 1 MHz. Se pretenden depositar 60 J/cm², se usará el modo pulsado a 1/2, con una *potencia eficaz de 0,4 W/cm²*. ¿A cuánto hay que aumentar el valor de potencia por ser pulsado? ¿Cuánto durará la sesión?

$$T = \frac{\text{Potencia} \times \text{Superficie}}{\text{Dosis}} = \frac{0,4 \text{ W/cm}^2 \times 5 \text{ cm}^2}{60 \text{ J/cm}^2} = \frac{2}{60} = 0,033 \text{ minutos}$$

Debe recordarse que las aplicaciones a cabezal fijo no admiten desplazamiento lateral para no alterar el valor de la superficie tratada, pero es necesario realizar inclinaciones del cabezal en todas las direcciones, con un ángulo de $\pm 10^\circ$.



Práctica 15-10

Supóngase una persona delgada, con una bursitis subcutánea sobre el trocánter mayor. Se explora y se decide aplicar efecto de continuo, pero el tejido afectado es superficial con el hueso próximo. Se delimita la zona y se miden unos 60 cm², se quieren depositar 45 J/cm², con 3 MHz por ser superficial, cabezal de 5 cm², la potencia (por ajustar 3 MHz) se reducirá una tercera parte sobre la que se hubiera regulado con 1 MHz (es decir, 1,5 W/cm²): 1,5 W/cm² · (2/3) de 3 MHz = 1 W/cm².

¿Cuánto durará la sesión?

$$T = \frac{\text{Potencia} \times \text{Superficie}}{\text{Dosis}} = \frac{1 \text{ W/cm}^2 \times 60 \text{ cm}^2}{45 \text{ J/cm}^2} = \frac{60}{45} = 1,33 \text{ minutos}$$



Práctica 15-11

Un paciente manifiesta patología en una articulación sacroiliaca. Se explora y se decide aplicar ultrasonoterapia dirigida al espacio fibroso articular; se pretende depositar 50 J/cm², se delimita y se mide la superficie tratada de unos 40 cm². Se desea alcanzar profundidad, pero la potencia de 1,1 W/cm² en continuo no permite demasiada penetración, por lo que se decide que sea pulsado a 2/5 (40 %) *para elevar la potencia de pico lo que indique el valor inverso multiplicativo de 2/5*.

Primero hay que saber a qué valor debe aumentarse la potencia del pulsado para mantener la potencia eficaz. Según los datos, el denominador de la fórmula de dosis sería:

$$1,1 \text{ W/cm}^2 \cdot 5/2 = 2,75 \text{ W/cm}^2 \text{ de potencia de pico}$$

$$2,75 \cdot 5 \text{ cm}^2 \cdot 2/5 = 5,5 \text{ W por todo el cabezal}$$

Si se compara con lo sugerido en modo continuo, se obtiene lo siguiente:

$$1,1 \text{ W/cm}^2 \cdot 5 \text{ cm}^2 \cdot 1 = 5,5 \text{ W}$$

¿Cuánto duraría la sesión con la corrección de potencia y en modo pulsado?

$$T = \frac{\text{Potencia} \times \text{Superficie}}{\text{Dosis}} = \frac{5,5 \text{ W} \cdot 1}{50 \text{ J/cm}^2} = \frac{5,5}{50} = 0,11 \text{ minutos}$$

Debe recordarse que para averiguar cuánto tiene que compensarse la potencia de pico, basta con multiplicar el valor de la potencia que se establecería en modo continuo por la fracción inversa a la fracción del factor pulsado.

Número de sesiones

El fin de esta terapia depende de la exploración diaria antes de aplicar la sesión correspondiente. Si la técnica no provoca evolución positiva en 3-4 días, hay que modificar parámetros al alza o retirarla. Si la técnica consigue evolución de mejoría, mediante la exploración, se decidirá su final o el cambio a otra más adecuada al momento evolutivo de la patología. Entre 10 y 15 sesiones suelen ser suficientes, aunque depende del proceso tratado.

TRATAMIENTO COMBINADO DE ULTRASONIDOS CON ELECTROTERAPIA

Desde hace unos años se ha iniciado una práctica, según la cual, a la vez que se aplicaban ultrasonidos, por el cabezal se inyectaban de manera simultánea corrientes de baja o media frecuencia (Fig. 15-22). Esta práctica se

sustenta en razones fisiológicas propias de las respuestas a las corrientes de baja frecuencia y a las de media frecuencia (las mal denominadas corrientes interferenciales bipolares).



Vídeo 15-10. Terapia combinada

El modo de aplicación requiere algunas consideraciones previas, como:

- Disponer de un equipo aplicador de terapias combinadas o de dos que se interconecten, uno de ultrasonidos y otro de corrientes.
- Saber enlazar ambos equipos al paciente (Fig. 15-22).
- Pensar que la corriente emerge de la parte metálica del cabezal con sus posibles riesgos.
- No se elevará de manera excesiva la intensidad de las corrientes.
- No se buscan respuestas motoras (salvo en determinadas ocasiones), como en vibraciones musculares.
- Sólo se buscan respuestas moderadas (no molestas).
- Prestar especial atención a las corrientes que mantengan un importante componente galvánico.
- Si el equipo lo permite, trabajar en modo de corriente constante (CC) para evitar, en

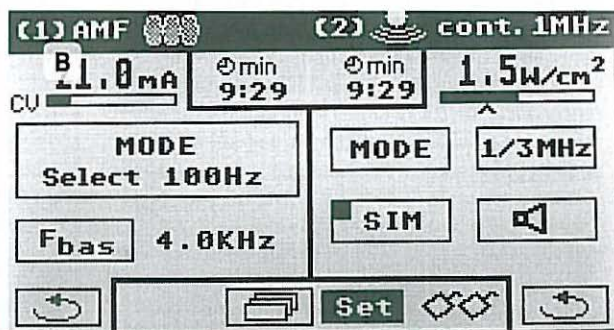


Figura 15-22. A) Un electrodo hace masa o indiferente y el cabezal actúa como electrodo activo. B) En la mitad izquierda de la pantalla se observa una corriente de media frecuencia aplicada a la vez que la terapia de ultrasonidos con sus parámetros en la parte derecha de la pantalla. Si se presta atención, al lado de la intensidad de la corriente aparece el acrónimo CV porque la máquina de forma automática se sitúa en voltaje constante con esta terapia.

lo posible, quemaduras de las corrientes con componente galvánico, pero evitar la pérdida de contacto con el cabezal.

- Trabajar en modo de voltaje constante (VC) frente a corrientes de media frecuencia o cuando se busquen puntos gatillo.

Los efectos o respuestas fisiológicas más buscadas con las corrientes (sin entrar en la parte de ultrasonidos) se describen a continuación.

Estímulo sensitivo de las terminaciones superficiales para desencadenar un reflejo motor sobre la musculatura lisa de los vasos linfáticos

Se considera que las paredes de los colectores linfáticos, formadas por musculatura lisa, se contraen de forma peristáltica y en cadencias de una contracción cada 4-6 s. Este peristaltismo, «al parecer» es posible activarlo o acentuarlo y provocarlo por la estimulación de las terminaciones nerviosas exteroceptivas mediante el reflejo cutivisceral.

Si se acentúa y se aumenta la evacuación de linfa en la zona, se mejorará la renovación del ambiente intersticial (ambiente que está siendo licuado con la superposición de ultrasonidos) y, una vez que se ha licuado, se eliminará y se renovará por las vías linfáticas con mayor eficacia.

La corriente ayuda, en este caso, a la terapia ultrasónica, por lo que la potencia de los ultrasonidos y su dosis deben considerarse como terapia principal.

La corriente usada de baja frecuencia debe estar formada por: pulsos cortos (0,1 ms), cuadrangulares bifásicos o monofásicos, frecuencia próxima a los 100 Hz, agrupados en trenes de alrededor de 1 s y pausa entre trenes próxima a los 5 s.

La intensidad de la corriente debe elevarse lo suficiente como para que el paciente detecte con claridad el estímulo eléctrico sin que

llegue a molestarle. El paciente puede manifestar, en algunos puntos o zonas afectadas, hipersensibilidad a la corriente, por lo general debida a la inflamación local. Se retocará la intensidad eléctrica para que el paciente no sienta molestias.

Estímulo sensitivo intenso para desencadenar respuestas neurovegetativas de vasodilatación, enrojecimiento y aumento del metabolismo en la zona

Si se es capaz de alcanzar aumento de la vasodilatación y mejora del riego sanguíneo, probablemente, se contribuirá a licuar el ambiente intersticial, a mejorar el trofismo, a aportar más calor, a mejorar la diapédesis en una zona que se supone pobre en intercambios iónicos, es decir, se reforzarán los mismos efectos que se intentan mediante la aplicación de la energía cinética de los ultrasonidos.

La corriente aplicada debe buscar un estímulo sensitivo que roce el umbral de la irritación desagradable con el fin de provocar al sistema neurovegetativo para que desencadene la vasodilatación. Ésta debe estar formada por: pulsos cortos (alrededor de 0,1 ms), cuadrangulares, bifásicos o monofásicos, frecuencia próxima a los 100 Hz, para formar una corriente de aplicación continuada (sin trenes) y, si la aplicación es monofásica (con componente galvánico), debe aplicarse el [-] con el cabezal.

Este estímulo sensitivo debe contribuir a la analgesia de la zona, como la técnica de estimulación nerviosa transcutánea (TENS), mediante el efecto puerta o la secreción de neurotransmisores de inhibición en la zona (v. cap. 8).

La dosis ultrasónica debe prevalecer sobre los efectos de la corriente, excepto si el objetivo fundamental se basa en aplicar las corrientes usando el cabezal a modo de electrodo puntual.

Corrientes que conserven un alto componente galvánico con el objetivo de influir en la electroquímica de la zona tratada

Lo expuesto en el apartado anterior puede transponerse a éste, salvo en el hecho de que la corriente utilizada aumenta ahora de forma considerable su componente galvánico, con lo cual debe valorarse si conviene aplicar el $[+]$ o el $[-]$. El positivo es adecuado en procesos de inflamación aguda, mientras que en procesos subagudos y crónicos se seleccionará el negativo.

Debe recordarse que el negativo produce una tendencia del medio electroquímico hacia la alcalinidad o aumenta el pH de la zona y el positivo genera lo contrario.

La corriente usada (en caso de cuadrangular) debe estar formada por: pulsos ajustados al componente galvánico deseado, cuadrangulares, monofásicos, frecuencia entre 100 y 200 Hz, pero ajustada al componente galvánico pretendido y aplicación de modo continuado.

Esta aplicación requiere ciertos cuidados en cuanto a la intensidad regulada, pues pueden producirse pequeñas quemaduras en la piel (no hay que olvidar que se está haciendo a través de un metal aunque éste se halle separado de la piel por el gel transmisor). Siempre que sea posible, se ajustará el equipo de electroterapia para que trabaje en corriente constante (CC). Nunca debe aplicarse la corriente galvánica pura.

Si se usan corrientes diadinámicas, se elegirá la corriente monofásica fija (MF) con preferencia sobre cortos períodos o largos períodos (CP o LP). Éstas generan, a su vez, un estímulo sensitivo importante.

La dosis de la terapia ultrasónica debe ajustarse de forma adecuada como objetivo principal o que pase a un segundo plano para estar más pendiente de las precauciones que estas corrientes merecen cuando poseen un componente galvánico alto.

Corrientes sin componente galvánico (de media frecuencia) para conseguir estímulos sensitivos fácilmente soportables sin riesgo de quemadura

Las corrientes de media frecuencia, mal llamadas interferenciales bipolares, presentan la ventaja de no poseer polaridad, es decir, no comportan componente galvánico, por lo que pueden ser muy bien soportadas y consiguen gran penetración. Estas corrientes se caracterizan, además, porque su aplicación habitual es en forma de barridos de frecuencia, lo cual, según la teoría de Adams, genera analgesia en los trayectos nerviosos y bloqueo del dolor en la formación reticular medular por el efecto puerta (Fig. 15-22 B).

Pueden elegirse barridos de 80-100, por ser frecuencias muy específicas para los exteroceptores y su velocidad de conducción, a fin de que, por vía sensitiva, desencadenen respuestas ya descritas en los dos apartados anteriores. También puede seleccionarse el barrido 0-100, tratando de provocar contracciones de los vasos sanguíneos con las frecuencias próximas al 0 y respuestas sensitivas con las frecuencias próximas al 100 (v. cap. 12).

La dosis de ultrasonidos debe ser el objetivo básico y, en consecuencia, se ajustará a los parámetros pertinentes para la ocasión. La intensidad de la corriente debe adaptarse a los efectos pretendidos, bien como respuesta sensitiva sin provocar dolor ni contracciones musculares, bien como respuesta motora si ésta se adecúa a nuestras pretensiones.

Corrientes con componente galvánico o sin él (de baja frecuencia o media frecuencia) para conseguir estímulos motores en forma de vibración muscular

Con frecuencias fijas de 1 a 6 Hz o barridos de 1 a 6 Hz se puede conseguir que las masas musculares sobre las cuales se desliza el

cabezal (o se mantiene fijo) se contraigan de forma vibratoria buscando la relajación de los músculos contracturados y la movilización de las cápsulas articulares próximas, para estimular los mecanorreceptores que desencadenan la secreción de neurotransmisores inhibidores del dolor.

La intensidad, en este caso, debe ser lo bastante alta como para conseguir respuestas motoras claras, pero no molestas. De las corrientes posibles, lógicamente, se seleccionará aquella menos molesta y que resulte más eficaz (en general, media frecuencia o pulsos bifásicos de baja frecuencia). El equipo de corriente debe ajustarse para que trabaje en tensión constante (VC).

La potencia de ultrasonidos o su dosis debe pasar a un segundo plano y se aplicará la mínima indispensable para que funcione el sistema.

Localización y tratamiento de puntos gatillo mediante corrientes de baja frecuencia que generen importante estímulo sensitivo sin componente galvánico

Para ello, se tratará de conseguir que emerja por el cabezal una corriente mantenida, en frecuencia fija próxima a los 120 Hz, sin componente galvánico, con pulsos cortos y bifásicos e intensidad suficiente para generar un estímulo sensitivo claro sin molestar. Al iniciar el desplazamiento lento del cabezal en busca de los puntos gatillo, se deslizará por zonas donde la corriente comienza a sentirse molesta, es decir, se habrá localizado una zona hipersensible al estímulo eléctrico.

Si el paciente sólo manifiesta hipersensibilidad, se sabrá que se ha encontrado una zona afectada por un proceso inflamatorio. En cambio, si además manifiesta que el estímulo aplicado le genera un reflejo a cierta distancia y sobre la enfermedad, se sabrá que en realidad se está frente a dichos puntos gatillo. No hay

que confundir los puntos gatillo con el estímulo directo de un nervio.

Para realizar el tratamiento, se mantiene el cabezal sobre el punto y se regula la intensidad de la corriente hasta que el paciente la tolere perfectamente, pero que la sienta de forma intensa aunque no debe alcanzar respuesta motora mantenida. Se detendrá el cabezal una media de 90 s, aunque será mejor mantenerlo hasta que desaparezca la repuesta refleja o la contractura muscular tratada. Por lo general, se necesitará retocar la intensidad a lo largo del tratamiento en el mismo punto. Después de terminar con un punto, se buscarán otros y se tratarán de forma sucesiva.

Para que esta técnica sea efectiva, los equipos de estimulación eléctrica deben ajustarse en VC, pues si trabajara en CC, muchos o casi todos los puntos no se manifestarían. Ello se debe a la disminución de la resistencia en los referidos puntos. Por ello, cuando el equipo trabaje en VC, al pasar sobre un punto gatillo, aumentará de forma brusca el paso de la intensidad. Sin embargo, si trabaja en CC, en ese instante disminuirá el voltaje para mantener la misma intensidad, lo que generará un descenso en la sensibilidad. *La potencia de ultrasonidos se reducirá al mínimo posible ya que el cabezal se utiliza, sobre todo, a modo de electrodo puntual* a no ser que también se trate el punto gatillo con ultrasonidos.

CARACTERÍSTICAS MÍNIMAS DE UN EQUIPO DE ULTRASONOTERAPIA

Un moderno equipo para ultrasonoterapia debe permitir dosificar de forma correcta, ya que la dosificación en cualquier técnica es cuestión fundamental.

En la *figura 15-23* puede apreciarse el frontal de un aparato que, en dos líneas de mandos superior e inferior, de izquierda a derecha muestra los siguientes controles:

- Indicador y dos teclas para observar la dosis que se ajusta con las teclas. La dosis se

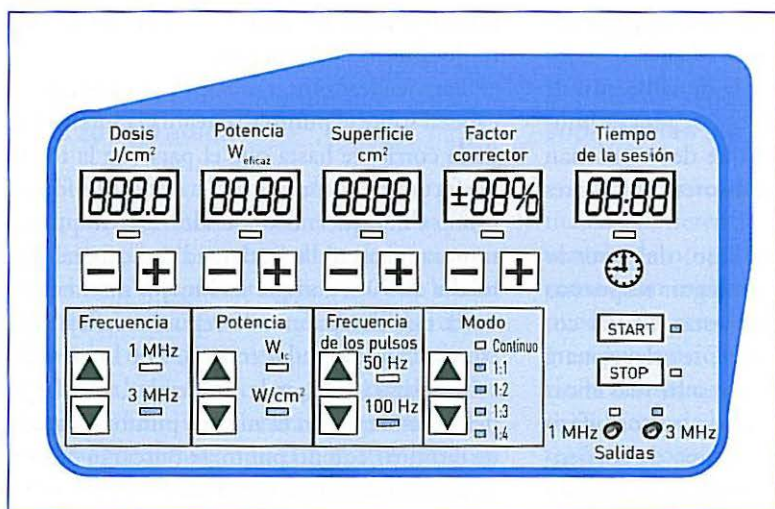


Figura 15-23. Hipotético equipo de ultrasonoterapia, en el cual se ajusta la dosificación y otros parámetros. Sin embargo, no se puede ajustar el tiempo de sesión porque este valor se calcula.

expresa en J/cm^2 (uno de los parámetros fundamentales).

- Indicador con dos teclas para representar y ajustar la potencia media deseada (bien W de todo el cabezal o en W/cm^2 del cabezal). Este parámetro se ajusta y es uno de los más importantes. El valor representado estará condicionado por el modo de trabajo: en modo continuo, en modo pulsado y en qué ratio pulso:reposo se encuentra.
- *Display* con dos teclas para indicar al equipo la superficie que se ha decidido y se ha medido en la zona corporal tratada. Este parámetro se representa en centímetros cuadrados.
- *Display* y dos teclas para ajustar un factor o coeficiente considerado que influiría para compensar pérdidas en dosificación. Puede aumentarse o disminuirse si se consigue que la cifra sea positiva o negativa (0 % representa que el coeficiente no se aplica).
- Indicador que refleja el tiempo de sesión (sin teclas de ajuste), ya que el tiempo está determinado por la fórmula de la dosificación y los correspondientes parámetros introducidos. El equipo calcula el tiempo y no se puede retocar, pero estará influido en el momento que se cambie alguno de los

parámetros que intervienen en la fórmula. Frente a los fallos de contacto del cabezal o irradiaciones insuficientes, el tiempo se detendrá en tanto no se restablezca la aplicación y su adecuada conductividad.

- En la banda inferior del cuadro de mandos, se observa, de izquierda a derecha, un primer cuadro en el cual se puede ajustar la frecuencia de ultrasonidos (1 o 3 MHz). Esta selección de frecuencia también influye en el tipo de cabezal conectado y en la activación de la salida correspondiente.
- El siguiente cuadro indica y permite seleccionar la representación de la potencia: entre vatios emitidos por todo el cabezal (W_{ic}) o vatios que emite por cada centímetro cuadrado del cabezal (W/cm^2).
- Se continúa con el cuadro que ajusta la frecuencia del pulsado (como mínimo debe contar con las opciones de 50 y 100 Hz).
- Se sigue con el cuadro que permite poner el modo de trabajo: continuo o pulsado (pulsado 1:1, 1:2, 1:3, 1:4, etc.). El modo pulsado influirá en el indicador de potencia dado que éste representa la potencia media o eficaz. Es recomendable usar el modo de fracción pulso/período, sobre

todo, para realizar cálculos aunque el ratio pulso:reposo sea más intuitivo.

- Por último, se aprecian dos teclas (START y STOP) y dos conectores de salida. Las teclas ponen en funcionamiento el equipo o lo detienen a voluntad del terapeuta. Inmediatamente debajo de las teclas se localizan los dos conectores para el cabezal de 1 MHz y el de 3 MHz (los cabezales multifrecuencia sólo requieren una salida). Estos conectores se activan y desactivan cuando la frecuencia cambia de funcionamiento en el cuadro inferior izquierdo.

Están apareciendo en el mercado cabezales de ultrasonidos multifrecuencia de manera que el tamaño ya no es óbice para aplicar una u otra frecuencia (Fig. 15-10).

También están ofreciéndose cabezales con varias pastillas vibratorias integradas en su interior; estas pastillas se alternan en su trabajo. El objetivo de este tipo de cabezales es fijarlo sobre el paciente y así evitar la aplicación manual. De esta manera, tanto ésta como otras técnicas sufren las consecuencias del rendimiento económico a costa de la calidad y de fomentar la mala práctica terapéutica. Además, por la emisión de ultrasonidos en

haz convergente y el BNR del cabezal, este «invento» de fijación del cabezal sin inclinaciones lo convierte en una terapia peligrosa.



Vídeo 15-11. Cabeza múltiple

ONDAS DE CHOQUE



Es una técnica basada en los sistemas de litotricia, que consiste en aplicar ondas sonoras (mejor, ondas cinéticas) de alta velocidad en su ataque, es decir, generación explosiva de 1, 2, 3 o 4 ondas por segundo (no ultrasónicas) aplicadas a un fluido gelatinoso que las transmite en una sola dirección mediante un cabezal que impide que se dispersen en todas las direcciones, pero que las focaliza hacia la salida, la cual termina en la superficie elástica de la bolsa que contiene el fluido (Fig. 15-24). Al poner en contacto la bolsa elástica que contiene la gelatina con la piel (interponiendo el clásico gel de ultrasonidos), se transmitirá a los tejidos orgánicos dicha onda, ya que los tejidos blandos del organismo humano se comportan como un material viscoelástico.

La generación de la onda cinética dentro del fluido se consigue de tres formas fundamentales:

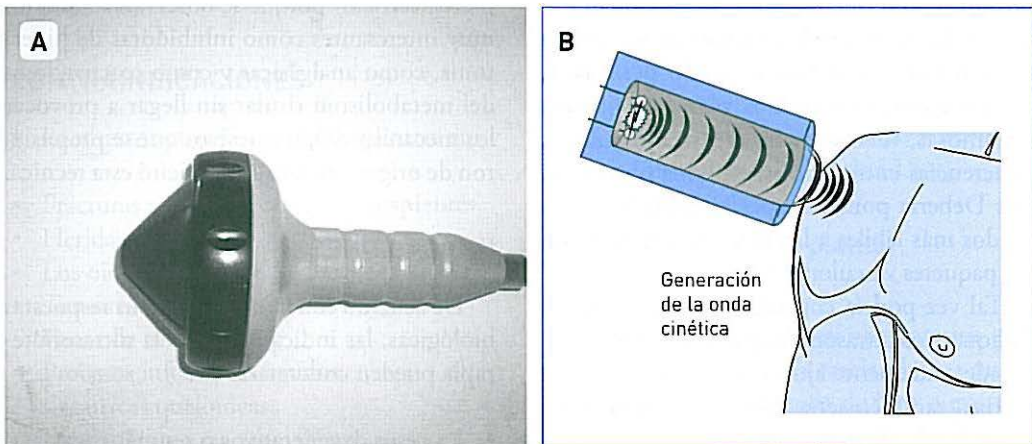


Figura 15-24. A) Cabezal piezoeléctrico para ondas de choque. B) Esquema de cómo puede generarse y transmitirse la onda de choque.

- Mediante vibración piezoeléctrica de un mineral con esta propiedad para que la deformación de éste se transmita al fluido.
- Por descarga de un arco voltaico dentro del fluido, lo que provocará en él una onda expansiva que avanza hasta el otro extremo.
- Por disparo de una bola contra un pistón dentro de un cilindro hueco mediante un sistema neumático (ondas de choque balísticas).

Los tejidos orgánicos se someterán a una onda deformante e intensa que avanza hasta ser amortiguada. La profundidad en que se mantiene su eficacia depende del comportamiento viscoso de los tejidos y de la potencia o presión aplicada por unidad de superficie. Los equipos destinados a rehabilitación y ortopedia reducen su eficacia a no más allá de 2-3 cm de profundidad.

Las ondas de choque llegan a provocar rotura de los tejidos que pierden la elasticidad típica de los fluidos, lo que provoca daños celulares y tisulares que desencadenan respuestas inflamatorias de reparación. Se deja pasar un tiempo de espera entre sesión y sesión con la esperanza de que la reacción neurovegetativa y reconstructiva solucione la patología cronicada.

Los efectos mayores se concentran en aquellos lugares en que el grado de viscosidad entre tejidos sufre cambios importantes: unión del tendón con el hueso, tejido perióstico, calcificaciones en tejidos blandos, fibrosis tendinosas, fuertes contracturas musculares, adherencias entre tejidos, entesitis fibrosadas, etc. Debería ponerse especial cuidado en los tejidos más lábiles a las deformaciones, como los paquetes vasculonerviosos.

Tal vez podría considerarse que donde se indiquen los ultrasonidos pulsados (con su dosis adecuadamente ajustada) o una técnica de Cyriax, también sería adecuada la aplicación de ondas de choque.

Asimismo, se especula con sus posibles aplicaciones en procesos de retraso en la osifica-

ción de fracturas, contando con las posibles propiedades piezoeléctricas del hueso al someterlo a deformaciones bruscas (v. «Piezoelectricidad del hueso», en el cap. 14).

Esta técnica tuvo un importante auge publicitario que, al parecer, está decayendo de forma notable. Es muy posible que, si se aplicara con la suficiente depuración técnica e indicaciones bien diagnosticadas en la correspondiente enfermedad, los resultados fueran mejores de lo habitual.

Si, por ejemplo, se aplica en una epicondilitis, estaría indicada en aquellas que sufran de entesitis: en las epicondilitis causadas por roturas musculares, atrapamiento o desmielinización del radial en la zona, pinzamientos radicales cervicales, hipertonías musculares de los epicondíleos, condropatías de la articulación humerorradial y humerocubital, fisuras óseas en la zona, subluxaciones de la sindesmosis cubitorradial proximal, de la membrana interósea, de la cubitorradial distal, etc. Salvo en la entesitis, en los demás casos estaría contraindicada. ¿Cuántas veces se habrá aplicado en las otras variantes? Una epicondilitis no es un codo de tenista.

En fisioterapia se está extendiendo el uso de las ondas de choque balísticas sobre masas musculares (son menos potentes que las piezoeléctricas) porque se observan resultados muy interesantes como inhibidoras de hipertonía, como analgésicas y como reactivadoras del metabolismo tisular sin llegar a provocar los mecanismos tan agresivos que se propusieron de origen cuando se publicitó esta técnica.

INDICACIONES

De acuerdo con lo expuesto y sus respuestas biológicas, las indicaciones de la ultrasonoterapia pueden concretarse en:

- Procesos degenerativos o reumáticos.
- Musculatura contracturada.
- Tenosinovitis.

- Procesos de fibrosis capsulares y ligamentosas.
- Cicatrices fibrosadas y adheridas.
- Derrames articulares empastados y coagulados.
- Derrames y hematomas derivados de roturas de tejidos blandos (no agudos).
- Destrucción de geloides que contienen catabolitos (celulitis).
- Calcificaciones en tejidos blandos.

PRECAUCIONES

Por las peculiaridades de la ultrasonoterapia, debe prestarse atención a:

- Fracturas recientes.
- Osteosíntesis o endoprótesis.
- Fisuras óseas cercanas a la zona.
- Traumatismos en proceso agudo.
- Evitar dosis altas sobre el sistema nervioso.
- Precaución cuando debajo se hallen cavidades con aire, como pulmones o intestinos.
- En fetos o en mujeres embarazadas (pues se supera la potencia alcanzada por la ecografía).
- Las proximidades de los centros nerviosos del sistema neurovegetativo (simpáticos o parasimpáticos). Con alguna frecuencia se satura e irrita al ganglio estrellado por mala práctica.

CONTRAINDICACIONES

La ultrasonoterapia no debe aplicarse en:

- Fracturas recientes con callos incipientes.
- Heridas recientes.
- Los ojos y canales del oído interno.
- Tumores cancerígenos.
- Focos de tuberculosis.
- Procesos infecciosos agudos.
- Cicatrices queloideas.
- Marcapasos.
- Zonas de tromboflebitis y proximidades.
- Corazón en cardiopatías.

ALGUNAS DOSIS RECOMENDADAS

Debe recordarse lo siguiente:

- En los procesos agudos: poca potencia y poca dosis.
- En los procesos crónicos: mucha potencia y mucha dosis.
- Si el paciente manifiesta dolor durante la sesión, hay que disminuir la potencia.
- Si el paciente manifiesta molestias e inflamación al día siguiente, debe disminuirse la dosis.
- Si el paciente comenta ausencia de respuesta al día siguiente, hay que elevar la dosis y la potencia.

Existen escuelas que proponen potencias y dosis bajas mientras que otras recomiendan potencias y dosis altas. Los fisioterapeutas con experiencia en los ultrasonidos saben que el modo continuo, con potencias altas y con dosis altas, es la metodología que, en realidad, proporciona buenos resultados terapéuticos (siempre que se domine la técnica).

Fibrosis subdeltoidea

En muchos procesos patológicos del hombro, se palpa una importante tensión tisular que atrapa el deltoides desde su profundidad. Se trata de una fibrosis de la bolsa subdeltoidea y subacromial.

El objetivo es liberar, ablandar y elasticar la zona con ultrasonidos (Tabla 15-4).

Espolón de la fascia plantar en el calcáneo

Este proceso consiste en una entesitis en la inserción proximal de la fascia plantar que ya ha evolucionado con pico de loro o exostosis ósea, causante de dolor intenso en la marcha.

El objetivo es destruir la calcificación (Tabla 15-5).

Tabla 15-4. Fibrosis subdeltoidea

Aplicación	Móvil con masaje del cabezal
Dosis	40 J/cm ²
Superficie	± 60 cm ²
Potencia	1,5 W/cm ² en modo continuo
Cabezal	5 cm ²
Frecuencia	1 MHz
Tiempo de la sesión	El obtenido según parámetros en la fórmula de dosificación
Terapia combinada	Vibraciones musculares con media frecuencia

Tabla 15-5. Espolón del calcáneo

Proceso subagudo	
Aplicación	Fijo con suaves giros e inclinaciones (no debe presionarse de manera excesiva el cabezal para evitar dolor)
Dosis	30 J/cm ²
Superficie	± 5 cm ²
Potencia	0,3 W/cm ² en modo continuo o 1 W/cm ² en modo pulsado 1:4
Cabezal	5 cm ²
Frecuencia	1 MHz
Tiempo de la sesión	El obtenido según parámetros en la fórmula de dosificación
Terapia combinada	Modulación 0 en media frecuencia
Proceso crónico	
Aplicación	Fijo con suaves giros e inclinaciones
Dosis	45 J/cm ²
Superficie	± 5 cm ²
Potencia	0,5 W/cm ² en modo continuo o 1 W/cm ² en modo pulsado 1:1
Cabezal	5 cm ²
Frecuencia	1 MHz
Tiempo de la sesión	El obtenido según parámetros en la fórmula de dosificación
Terapia combinada	Modulación 0 en media frecuencia

5 Derrame por esguince del ligamento lateral externo del tobillo

Estos esguinces provocan un importante derrame articular e intertisular que debe fluidificarse y evacuarse en un tiempo mínimo.

Se esperará, al menos, 48 horas después de la lesión. Es un proceso agudo y doloroso (Tabla 15-6).

Rotura muscular cronificada de larga evolución sobre cuádriceps



Es frecuente hallar roturas musculares con evolución de años que provocan una induración y atrapamiento de tipo cicatricial en la zona.

El objetivo es liberar el proceso fibrótico (Tabla 15-7).

Celulitis o fibrosis en los tendones de la pata de ganso

Si se palpan en la cara interna de la rodilla los tendones que terminan en la pata de ganso superficial, se detectará un proceso fibrótico,

doloroso, empastado, poco deformable y que atrapa varios tendones.

El objetivo es liberar la tensión, elasticar la zona y evacuar las toxinas y catabolitos contenidos en el proceso fibrótico. Debe palparse

Tabla 15-6. Derrame por esguince de tobillo

Aplicación	Móvil subacuático o con bolsa de agua (el roce del cabezal produce dolor)
Dosis	20 J/cm ²
Potencia	0,5 W/cm ² en modo continuo
Superficie	Unos 30 cm ²
Cabezal	5 cm ²
Frecuencia	3 o 1 MHz según profundidad del derrame
Tiempo de la sesión	El obtenido según parámetros en la fórmula de dosificación
Terapia combinada	Modulación 0 en media frecuencia o corrientes bifásicas de alto voltaje a 150 Hz en baja frecuencia

Tabla 15-7. Fibrosis por rotura muscular

Aplicación	Móvil y rápido con fuerte masaje del cabezal
Dosis	45 J/cm ²
Superficie	± 90 cm ²
Potencia	2 W/cm ² en modo continuo o 3 W/cm ² en modo pulsado 1:1 (si la superficie es pequeña, probablemente habrá que disminuir la potencia)
Cabezal	5 cm ²
Frecuencia	1 MHz
Tiempo de la sesión	El obtenido según parámetros en la fórmula de dosificación
Terapia combinada	Vibraciones musculares con media frecuencia

antes de la sesión y después de ésta para comprobar resultados (Tabla 15-8).

nerse precaución para que los ultrasonidos no lesionen o saturen al nervio radial.

Contractura muscular del cuadrado lumbar

En las contracturas musculares crónicas, la técnica de ultrasonidos aporta buenos resultados para relajar y liberar las toxinas intramusculares no evacuadas por el hipertono mantenido. Asimismo, la fibrosis tiende a proliferar en las masas musculares contracturadas de larga evolución.

El objetivo es relajar, limpiar catabolitos y elasticar la fibrosis (Tabla 15-9).

Epicondilitis

En las epicondilitis pueden encontrarse, entre otras causas y previa exploración, contracturas musculares de los epicondíleos, desgarros musculares de bandas musculares, entesitis en las inserciones de los epicondíleos y fibrosis en bandas que suelen atrapar al radial. Debe te-

Tabla 15-8. Fibrosis de la pata de ganso

Aplicación	Móvil con importante presión del cabezal (masaje del cabezal)
Dosis	40 J/cm ²
Superficie	60 cm ²
Potencia	1 W/cm ² en modo continuo o 2 W/cm ² en modo pulsado 1:1
Cabezal	5 cm ²
Frecuencia	1 MHz
Tiempo de la sesión	El obtenido según parámetros en la fórmula de dosificación
Terapia combinada	Corriente con fuerte componente sensitivo y galvánico para evacuar toxinas (Trabert)

Tabla 15-9. Contractura del cuadrado lumbar

Aplicación	Móvil con importante presión del cabezal (masaje del cabezal)
Dosis	40 J/cm ²
Superficie	Unos 60 cm ²
Potencia	1,5 W/cm ² en modo continuo o 2 W/cm ² en modo pulsado 1:1
Cabezal	5 cm ²
Frecuencia	1 MHz
Tiempo de la sesión	El obtenido según parámetros en la fórmula de dosificación
Terapia combinada	Vibraciones musculares con media frecuencia

En este caso habrá que concentrarse en dos variantes diferentes: proceso de entesitis y contracturas musculares (Tabla 15-10).

Puntos gatillo del trapecio

Previamente y de forma manual, deben explorarse y localizarse los puntos gatillo que se deben tratar para situar con precisión el cabezal. Es más importante la corriente de la terapia combinada que la aplicación de ultrasonidos. La potencia y la dosis de ultrasonidos deben ser bajas (suficientes como para que funcione sin errores el aparato). Debe tenerse especial cuidado con el ganglio estrellado situado a la altura de la C6 y los senos carotídeos si se tratan los escalenos.

El cabezal se mantiene fijo, sin movimiento, y se aplica la corriente sin provocar la respuesta motora (condición algo difícil de conseguir). ¿Contribuirá la presión mantenida del cabezal a eliminar el hipertono y el punto gatillo?

Se pretende relajar y eliminar dolores y tensiones musculares en el paciente. Deben comprobarse los resultados al terminar (Tabla 15-11).

Tabla 15-10. Epicondilitis

Entesitis epicondilea	
Aplicación	Cabezal fijo con suaves giros e inclinaciones
Dosis	De 25 a 35 J/cm ² en función de su agudeza o cronicidad
Superficie	5 cm ²
Potencia	0,3 W/cm ² en modo continuo o 0,8 W/cm ² en modo pulsado 1:1
Cabezal	5 cm ²
Frecuencia	3 MHz
Tiempo de la sesión	El obtenido según parámetros en la fórmula de dosificación
Terapia combinada	Corriente de Trabert con importante efecto sensitivo sin llegar a provocar dolor

Contractura de epicondileos

Aplicación	Móvil con importante presión del cabezal (masaje del cabezal)
Dosis	40 J/cm ²
Superficie	Unos 30 cm ²
Potencia	1 W/cm ² en modo continuo o 2 W/cm ² en modo pulsado 1:1
Cabezal	5 cm ²
Frecuencia	1 MHz
Tiempo de la sesión	El obtenido según parámetros en la fórmula de dosificación
Terapia combinada	Vibraciones musculares con media frecuencia o con alto voltaje bifásico

Retracción de Dupuytren

Se trata de liberar las adherencias fibróticas entre los tendones y planos adyacentes a estos.

Tabla 15-11. Puntos gatillo

Aplicación	Cabezal fijo sin giros ni inclinaciones y presión moderada del cabezal
Dosis	De 5 a 10 J/cm ²
Superficie	De 1 a 5 cm ²
Potencia	0,2 W/cm ² en modo pulsado 1:4
Cabezal	1 cm ² , 2,5 cm ² o, en su defecto, 5 cm ²
Frecuencia	1 MHz
Tiempo de la sesión	El que sea necesario hasta que se detecte la disminución de tensión muscular bajo el cabezal (no se aplicará la fórmula de dosificación)
Terapia combinada	Corriente de alto voltaje, bifásica, frecuencia fija entre 80 y 150 Hz (se busca el estímulo sensitivo). Debe operarse con la intensidad hasta el inicio de la respuesta motora

Tabla 15-12. Retracción de Dupuytren

Aplicación subacuática	Móvil en aplicación
Dosis	70 J/cm ²
Superficie	Unos 60 cm ²
Potencia	1,5 W/cm ² en modo continuo o 2 W/cm ² en modo pulsado 1:1
Cabezal	5 cm ²
Frecuencia	1 MHz
Tiempo de la sesión	El obtenido según parámetros en la fórmula de dosificación
Terapia combinada	En el subacuático no es recomendable la terapia combinada

ECOGRAFÍA MUSCULOESQUELÉTICA

Un viejo sueño de muchos fisioterapeutas consiste en tener el poder de ver lo que ocurre dentro del organismo cuando se tratan las di-

Si se supone que se encuentra en un proceso ya establecido, puede actuarse según lo recomendado en la [tabla 15-12](#).

Edema óseo

Aunque se sugiere evitar las superficies óseas con ultrasonoterapia, es útil en procesos de edema óseo para acelerar la regeneración y reducir los síntomas tan molestos y confusos que lo acompañan. A modo de ejemplo, son frecuentes, aunque poco diagnosticados, los edemas óseos en el cóndilo interno del fémur.

Una precaución muy importante en este proceso patológico consiste en mantener el haz de ultrasonidos lo más perpendicular posible a la superficie ósea para evitar reflexiones y refracciones. Se usará 1 MHz para penetrar en la masa ósea ([Tabla 15-13](#)).

Tabla 15-13. Edema óseo

Aplicación	Móvil con desplazamientos más rápidos de lo habitual para evitar la cavitación en el periostio
Dosis	50 J/cm ²
Superficie	Unos 60 cm ²
Potencia	1,5 W/cm ² en modo continuo o 2 W/cm ² en modo pulsado 1:1
Cabezal	5 cm ²
Frecuencia	1 MHz
Tiempo de la sesión	El obtenido según parámetros en la fórmula de dosificación
Terapia combinada	Portadora con modulación 0 entre 4.000 y 6.000 Hz

ferentes patologías («paciente transparente»). La ecografía musculoesquelética acerca al fisioterapeuta a esta ilusión

La ecografía no es una técnica de tratamiento, pero es una herramienta de exploración intratisular basada en ultrasonidos; por ello, a modo de curiosidad y para fomentar su uso, en esta obra se le dedica un apartado. No se trata de utilizarla en fisioterapia como una técnica de diagnóstico, sino como método exploratorio que permite ir más allá de la palpación e interpretación de lo palpado en profundidad, pues muestra una imagen dinámica para evaluar aspectos como la evolución de un derrame o de un proceso cicatricial, si un callo de fractura se mueve frente a maniobras terapéuticas, la evolución inflamatoria de una tendinitis, qué se encuentra bajo un dolor a la palpación, la localización de la aguja en la electrólisis percutánea intratisular (EPI), si una terapia manual luxa un gesto articular pasivo forzado o no, la causa biomecánica de un bloqueo articular, los cambios de textura en los tejidos frente a procesos patológicos, la evolución de un esguince y los límites de las maniobras terapéuticas, la respuesta terapéutica frente a terapias de calor o de frío (p. ej., en un derrame), cómo cambia la textura tisular ante maniobras terapéuticas (p. ej., un masaje), el porqué de ciertos retrocesos en la evolución del paciente y de otras muchas observaciones que se pueden realizar en cada caso, momento y paciente.

Dado que los paquetes vasculonerviosos son visibles y localizables con la ecografía, ésta puede permitir el seguimiento de ciertas evoluciones en troncos nerviosos con parálisis periféricas.

Si además de la simple visión intratisular se añade la posibilidad de la ecografía Doppler



Figura 15-25. Fotografía en un curso de ecografía musculoesquelética. En pantalla se observan los tendones, el nervio mediano y la sindesmosis entre cúbito y radio.

vascular, se potencia mucho la observación frente a respuestas terapéuticas de técnicas de fisioterapia (Fig. 15-25).

Esta metodología exploratoria precisa entrenamiento para entender su jerga, el manejo del equipo (sobre todo, del cabezal) y aprender a interpretar lo que se observa. Por ejemplo, para apreciar los tendones de la cara anterior de la muñeca como en la figura 15-25, inclinaciones mínimas del cabezal explorador logran que se dibujen perfectamente o que se pierdan en una imagen confusa. Es fundamental tener una buena base de anatomía y de biomecánica de cada zona explorada.

Conocer y observar la biomecánica es muy importante porque, entre otras cosas, esta herramienta permite observar de forma continuada, dinámica y en tiempo real, además de permitir la instantánea de un momento concreto.



Autoevaluación

Material complementario en el sitio web



- Autoevaluación
- Anexos:
 - 15-1. Cálculo para dosificar ultrasonidos
- Vídeos:
 - 15-1. Piezoelectricidad
 - 15-2. Ratio pulso-reposo
 - 15-3. Prueba de emisión de ultrasonidos
 - 15-4. Molino de ultrasonidos
 - 15-5. Medidor de potencias de ultrasonidos
 - 15-6. Medida de potencia de ultrasonidos
 - 15-7. Aplicación de ultrasonidos
 - 15-8. Profundidad de los ultrasonidos
 - 15-9. Viscoelasticidad
 - 15-10. Terapia combinada
 - 15-11. Cabezal múltiple

16

Infrarrojos

Contenido

- Espectro electromagnético de la luz
- Sistema empírico de dosificación
- Sistema científico de dosificación
- Cálculos prácticos de dosificación
- Hipotético equipo de rayos infrarrojos de tipo A
- Indicaciones, precauciones y contraindicaciones

Objetivos de aprendizaje

- Conocer el espectro electromagnético de la luz (sobre todo, la banda de infrarrojos).
- Comprender los efectos fisiológicos y biológicos que genera la termoterapia superficial por infrarrojos de tipo A.
- Dominar el sistema de dosificación.
- Entender las diferencias entre un sistema con lámpara estándar y un sistema con láser.
- Dominar las indicaciones, precauciones y contraindicaciones.

Síntesis conceptual

- ✓ En este capítulo se vuelve al espectro electromagnético, pero ya en la banda de la luz. Ésta se delimita entre las longitudes de onda más sobresalientes.
- ✓ Se plantea un sistema de dosificación para evitar en lo posible metodologías empíricas sin el debido cuidado ni control. El sistema de dosificación propuesto está basado en conceptos de física simple y fácil de comprender.
- ✓ Se desarrollan los efectos de la termoterapia superficial sobre el organismo.
- ✓ Se comparan los sistemas de infrarrojos con lámparas estándares con los infrarrojos del láser.
- ✓ Se propone un prototipo de sistema de terapia para aplicar infrarrojos y dosificarlos de manera correcta.
- ✓ Por último se enumeran las indicaciones, precauciones y contraindicaciones con la terapia estándar con infrarrojos.

INTRODUCCIÓN

Cuando se aplican infrarrojos (IR) al organismo, se deposita energía electromagnética en la banda del espectro anterior a la luz visible. Es conveniente recordar la distribución del espectro electromagnético que corresponde a la banda de la luz, en el que se toma como referencia la luz visible (Fig. 16-1). Es una técnica que también se denomina *termoterapia superficial*, al contrario de lo que sucede con la radiofrecuencia, que es termoterapia profunda.

El espectro de IR (que abarca desde 770 hasta 10.000 nm) se subdivide en tres bandas:

- IR de tipo A, cercanos a la luz visible.
- IR de tipo B, más lejanos o medios.
- IR de tipo C, los más lejanos de la luz visible y en contacto con la banda de las

microondas. En electroterapia se usan los de tipo A, cuya eficacia máxima se centra alrededor de los 1.000 nm.

Por lo general, se aplican mediante lámparas específicas diseñadas para este fin, de forma irradiada. Cuando el paciente recibe esta energía, percibe sensación de calor, lo mismo que sentiría bajo el sol o junto a una estufa. Sin embargo, nadie se ha preocupado de medir la cantidad de energía que se aplica para dosificar con la suficiente precisión, como se propone en la figura 16-2.

Debe recordarse que en fisioterapia se aplica calor de diferentes formas:

- Calor por conducción (contacto con la fuente).
- Calor por convección (transportado por un fluido, en general, aire).

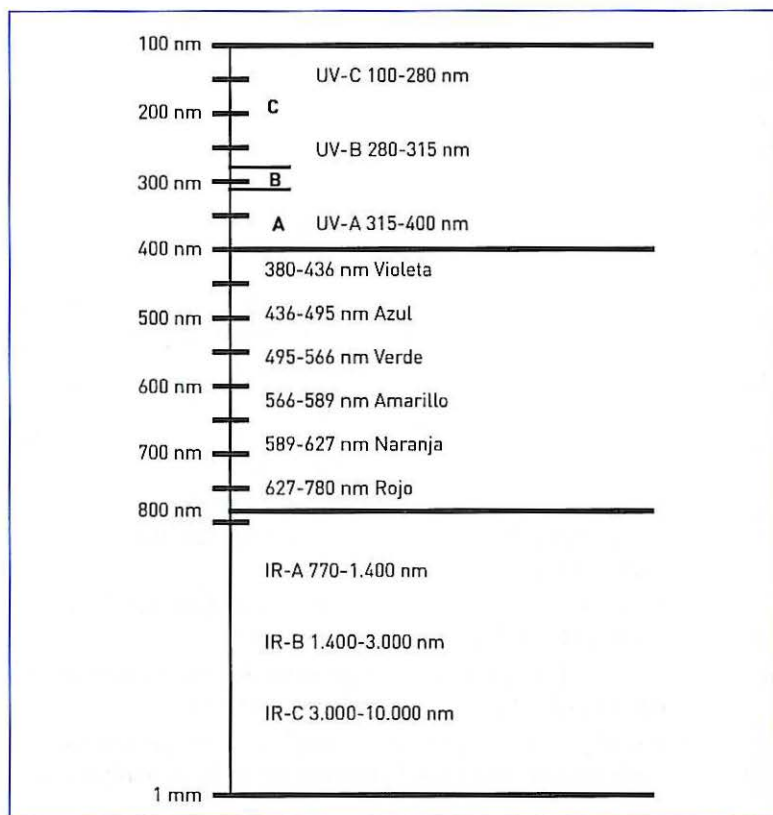


Figura 16-1. Espectro electromagnético en la banda de la luz: infrarrojos (IR) no visibles, luz visible y ultravioletas (UV) no visibles.



Figura 16-2. Lámpara de infrarrojos de tipo A con su campana correspondiente aplicada sobre una espalda. Se mide la potencia de la irradiación recibida.

- Calor por irradiación (ondas electromagnéticas emitidas desde un foco hasta impactar en el paciente).
- Calor por transformación (se aplica una energía para que se transforme en térmica, como la onda corta o microondas).

Así pues, en este capítulo se tratará de la modalidad por irradiación, en la banda de los infrarrojos. Las otras modalidades también consiguen el mismo efecto, pero cada una tiene sus matices. La longitud de onda de las lámparas comerciales utilizadas al respecto se

establece con el máximo de irradiación en los 1.000 nm.

La potencia de irradiación no debe confundirse con la potencia de energía consumida, pues una lámpara, como toda máquina, siempre irradiará menos de lo consumido. Además, al fisioterapeuta le interesa la energía recibida en determinada zona corporal, circunstancia que depende, sobre todo, de la construcción y la forma de la lámpara. Por ejemplo, respecto a las muy habituales lámparas de 250 W y de 150 W en consumo, la primera genera menos potencia por unidad de superficie que la variante de 150 W en consumo. Las primeras en orden (250 W) dispersan mucho la energía en tanto que las segundas (debido a una lente de Fresnel) consiguen concentrar con más eficacia la energía bajo la lámpara, circunstancia que le interesa al fisioterapeuta (Fig. 16-3).

La penetración en el organismo depende de la densidad de la materia, de la longitud de onda y de la potencia aplicada.

La aplicación de esta energía siempre se ha considerado como termoterapia superficial, pues en general se especula con 1-2,5 cm de penetración, pero no deja de ser especulación. Se tratará de explicarlo con el siguiente ejemplo.

Se dispone de una diana de corcho (el material de la diana representa la densidad de la materia) y tres elementos para lanzar contra la diana: una jabalina, un dardo y una aguja de coser (cada objeto representa distintas longi-

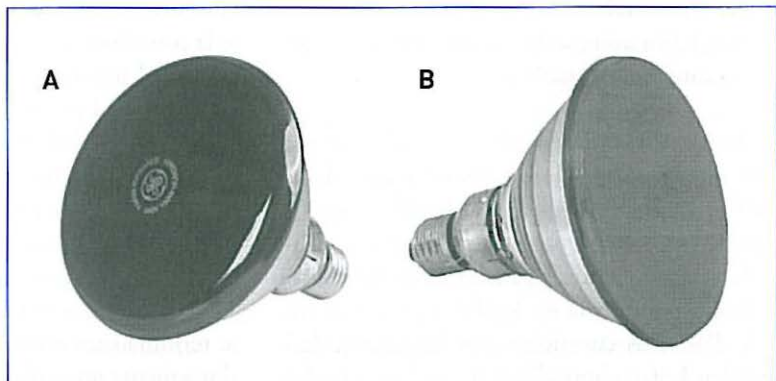


Figura 16-3. A) Lámpara de rayos infrarrojos de uso habitual de 250 W. B) Lámpara de 150 W focalizada por lente de Fresnel.

tudes de onda de acuerdo con el grosor de su punta).

Desde unos 10 m se lanzan los tres objetos con la misma fuerza y se puede observar que, tal vez, la aguja de coser caiga al suelo a mitad de camino, el dardo llega y se clava mientras que la jabalina puede destrozar la diana (ello simula, en este caso, la potencia con la cual llega la energía a la materia). La potencia de la jabalina es tal que penetrará mucho aunque su longitud de onda sea excesiva para la densidad de la materia considerada. Sin embargo, la aguja que podría entrar con facilidad no consigue llegar a tocar la diana (no posee suficiente potencia).

Se retoma el experimento con la siguiente modificación: se aplica la punta de cada elemento contra la superficie de la diana y se empuja a los tres con la misma presión (p. ej., 2 kg). La aguja entrará sin ninguna dificultad, quizá, el dardo penetrará lo suficiente para no caerse y la jabalina puede haber marcado su punta sobre el corcho, pero no ha penetrado.

Así pues, se comprueba que la longitud de onda fue un parámetro fundamental para alcanzar mayor penetración, pero con la misma potencia para los tres intentos. Entonces, puede concluirse que:

- A la misma potencia aplicada, penetrará más la de menor longitud de onda.
- Si la densidad de la materia es baja, todas las longitudes de onda tenderán a penetrar más.
- Si la potencia es elevada, se forzará la penetración aunque las condiciones no sean totalmente favorables.

Puede afirmarse que la luz visible penetra más que los infrarrojos, o que los ultravioletas (UV) penetran más que la luz visible y que los infrarrojos, pero siempre que la potencia aplicada sea semejante. Es fácil conseguir abundancia de potencia en los IR y poca con los UV. Por estas cuestiones, no bien aclaradas, pueden leerse contradicciones sobre el hecho

de que los IR penetran más o, al contrario, que por su menor longitud de onda, que los UV de tipo A penetran más.

Al margen de estas disquisiciones de penetración por su potencia y su longitud de onda, se produce una penetración «en cascada» que termina alcanzando tejidos profundos. Esta denominación de «cascada» significa que, cuando se calienta la primera capa, ésta transmite energía a la siguiente capa; cuando se satura la segunda, se calienta otra tercera y así (transcurrido cierto tiempo de sesión) la energía termina penetrando hasta niveles considerables.

Debe contemplarse esta circunstancia frente a endoprótesis o placas de osteosíntesis bastante cercanas a la piel para evitar que éstas se calienten por encima de los 42 °C.

DOSIS DE INFRARROJOS

La dosis en esta técnica es la cantidad de energía recibida por el paciente si se tiene en cuenta la potencia aplicada, el tiempo de la sesión y el producto de ambas repartido entre la unidad de superficie, es decir, se está tratando de J/cm^2 .

Los fisioterapeutas todavía mantienen hábitos erróneos cuando aplican esta técnica, por hacerlo de forma empírica y poco científica o por falta de la debida profesionalidad. Sin embargo, se continúa aplicando por sus excelentes resultados obtenidos y el poco coste, y se la considera una técnica muy interesante. Se analiza el tema para proponer un sistema de dosificación a partir de la lectura de la potencia sobre la piel del paciente (Fig. 16-2).

Se tiene la costumbre de colocar al paciente bajo la lámpara, a una distancia ajustada para que éste no sienta «quemazón» (potencia adecuada) y durante «un rato», tal vez 10 minutos, 15 para otros, o «haciendo tiempo» mientras se termina otra tarea, etc. Sin embargo, el fisioterapeuta no se plantea si la energía recibida

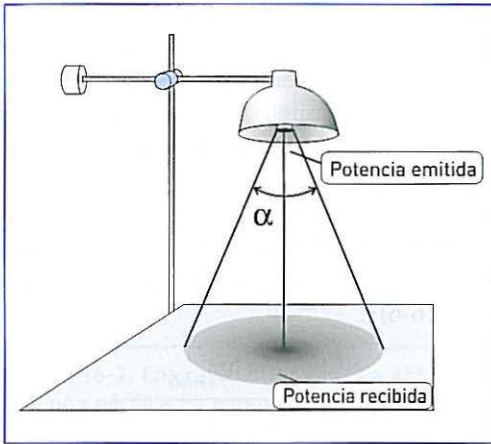


Figura 16-4. Los rayos irradiados generados por una lámpara de infrarrojos estándar poseen divergencia y su consiguiente pérdida de potencia en los bordes con relación al centro del campo irradiado. Es una causa por la cual, no es lo mismo la potencia emitida que la recibida.

por los tejidos ha sido la adecuada para conseguir los resultados esperados, si ha sido insuficiente o si ha sido excesiva. Con frecuencia se considera que debe situarse al paciente entre 50 y 75 cm de la lámpara (aunque depende de la forma y potencia de ésta) y mantenerla durante unos 15 minutos de media. Así, se está haciendo referencia a la energía aplicada, sin considerar la recibida, cuando la recibida es el parámetro realmente importante (Fig. 16-4).

Hasta que se sea capaz de establecer la cantidad de energía recibida o establecer de forma previa y prescribir de antemano la deseada, no se podrá considerar un sistema de dosificación bien resuelto.

Dado que sobre la dosis (o energía recibida en J/cm^2) no hay nada establecido de forma eficaz, puede partirse de la experiencia habitual y más extendida a fin de establecer una dosis media. Para ello se necesita conocer de forma previa:

- La potencia recibida en la superficie corporal.
- Una superficie corporal considerada que debe tratarse (campo de tratamiento).
- El tiempo que se aplica.

Potencia recibida en la superficie corporal

Para averiguar la potencia de energía que recibe la superficie corporal, el fisioterapeuta dispone de dos métodos:

- *Primer sistema.* Depende de la información aportada por el fabricante en cuanto a la potencia emitida en la superficie de la lámpara, la divergencia del haz, la distancia entre cuerpo y lámpara, el cálculo teórico de la potencia a distintas distancias según la divergencia del haz, el envejecimiento de la lámpara, etc. Es un sistema muy teórico, por el cual no se dispondrá con facilidad de los datos requeridos.
- *Segundo sistema.* Se apoya en la medida directa de la potencia recibida mediante su correspondiente vatímetro o sonda lectora de la potencia que en realidad llega a cada punto de la zona tratada. Éste será el sistema más eficaz (previa adquisición del vatímetro, medidor que refleja los milivatios recibidos en cada cm^2 de la piel: mW/cm^2).

Para tratar de establecer una dosis de partida en J/cm^2 , se establecerá gran diversidad de medidas con el método empírico en aplicaciones reales y por distintos profesionales (con el correspondiente vatímetro). Así pues, los valores obtenidos han oscilado entre 50 y $150 mW/cm^2$ aunque los más frecuentes se hallan entre 70 y $80 mW/cm^2$. Estos datos se reservan para más adelante.

El parámetro de potencia no es variable durante la sesión una vez que se ha establecido la aplicación o el tratamiento, pero es importante el punto en que se mide, ya que el haz no es homogéneo y, como se ha descrito con anterioridad, la divergencia provoca la concentración de energía sobre el centro del foco (Fig. 16-5). Siempre hay que medir en el centro del campo irradiado.

Este efecto dispersivo sobre el campo de tratamiento casi se pierde con la lámpara que

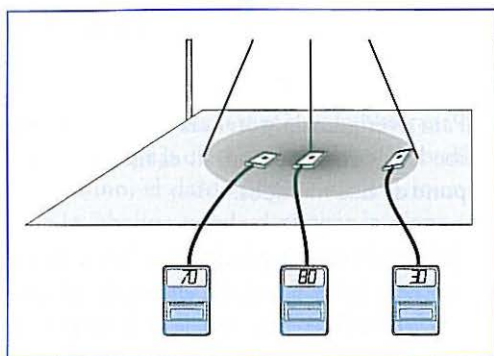


Figura 16-5. Lecturas de la potencia recibida en distintos puntos del campo irradiado. En el centro siempre será mayor que en los bordes.

posee la lente de Fresnel. Sin embargo, con la lente de Fresnel se está obligado a poner más precauciones porque provoca concentración de la potencia y habrá que alejar más de lo habitual el foco de emisión de la zona tratada.

Superficie corporal considerada como tratada

En función del sistema de lámpara utilizada, la superficie cubierta es mayor o menor, pero siempre es una zona bastante amplia. Dependiendo de si la lámpara posee un sistema de lentes de Fresnel o no, el haz de radiación será más o menos cónico, de forma que cuanto

menor sea la base menor resultará la divergencia del haz y la concentración o densidad de energía será más alta.

Esto implica que la zona tratada no recibe por igual la misma energía, ya que en línea con el eje de la lámpara se leerán los valores mayores (Fig. 16-5), pero al alejarnos de dicho eje los valores van disminuyendo de manera progresiva, de acuerdo con la fórmula siguiente (Fig. 16-6):

$$W_{recibida} = \frac{W_{emitida}}{(d \cdot \tan \alpha)^2 \cdot \pi}$$

La vieja fórmula muy extendida (ley del cuadrado de la distancia), por la que se considera que la potencia disminuye de forma inversamente proporcional al cuadrado de la distancia, sólo se presenta cuando la divergencia entre rayos es de 45° (Fig. 16-7). En las lámparas normales de IR se podría aplicar esta ley de la distancia a 45° , pero en lámparas con lente de Fresnel se aplica la fórmula del párrafo anterior.

Entonces, se considerará como buena una superficie que se adapte a la zona tratada y que los valores de potencia se mantengan muy semejantes, mientras se desprecia el resto del campo irradiado y se cubre la superficie corporal fuera del campo de tratamiento con paños

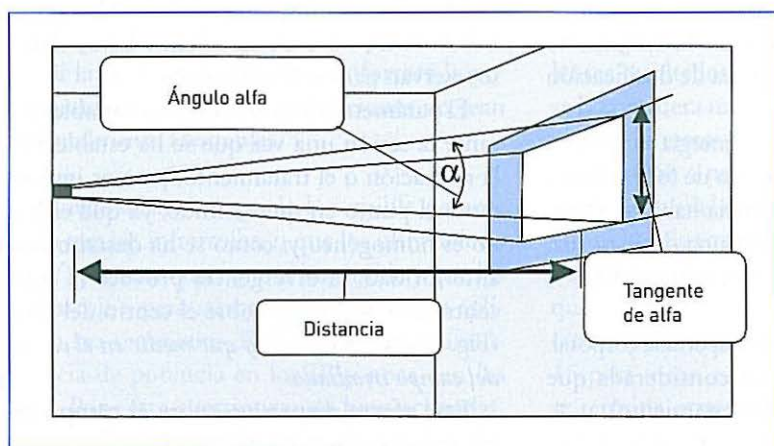


Figura 16-6. La divergencia del haz causa la pérdida de potencia de forma inversa a la distancia y a la divergencia.

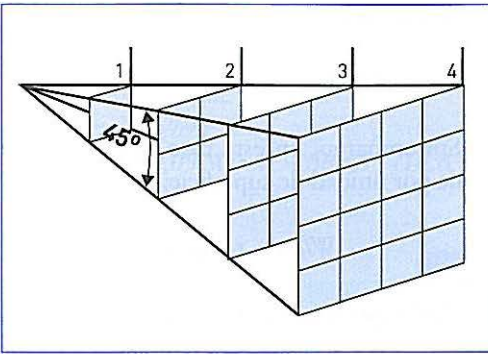


Figura 16-7. Los rayos divergentes a 45° provocan una pérdida de potencia inversamente proporcional al cuadrado de la distancia.

o mediante reguladores a modo de diafragma en los equipos destinados a conformar la superficie tratada.

Si se acerca mucho la lámpara, el efecto dispersivo de potencia se acentúa, pero, si se aleja, se reduce. Además, si se distancia, se pierde el efecto sensitivo térmico y, si se acerca, puede rozarse la sensación de calor quemante. Esta circunstancia será un condicionante básico al practicar los tratamientos, es decir, *uno de los objetivos consiste en que el paciente tenga una sensación térmica agradable y relajante*, factor que se regula con la distancia. En realidad se está haciendo referencia al ajuste de potencia, pero se compensará con el tiempo para mantener la misma dosis (Fig. 16-8). Asimismo, se encuentran sistemas de terapia con IR que regulan la potencia de emisión con los típicos reguladores de luminosidad para evitar los acercamientos o alejamientos del foco al organismo.

Después de haber realizado multitud de medidas con el vatímetro para tratar de establecer una zona o superficie, en la cual los valores no sufran diferencias dignas de mención, pueden considerarse superficies de mayor eficacia los círculos cuyo radio oscila entre 15 y 20 cm. La superficie también depende de la distancia a la lámpara.

La superficie del campo de tratamiento es un parámetro no variable o no modificable

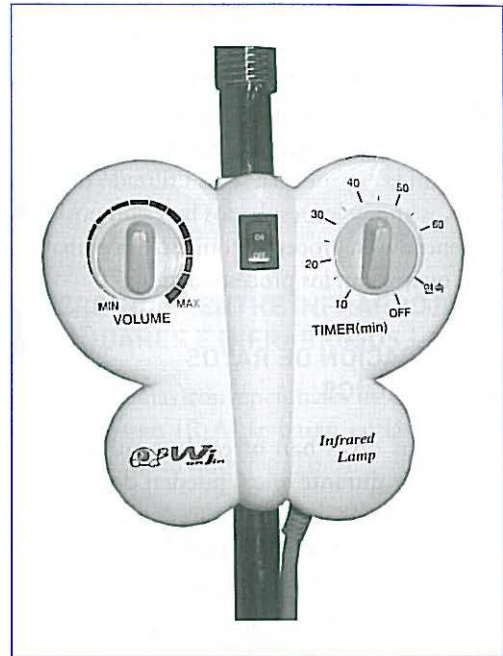


Figura 16-8. Pie de lámpara para infrarrojos, en el que se encuentran los mandos de encendido y apagado, el regulador de potencia luminosa y el reloj para cronometrar el tiempo de la sesión.

durante la sesión aunque para los cálculos no será necesaria porque ya se parte de la potencia recibida en cada centímetro cuadrado.

Tiempo de aplicación

El único parámetro que puede variarse durante la sesión e influir de manera directa en que cada centímetro cuadrado de piel reciba más o menos energía durante la sesión es el tiempo.

Si se parte de la experiencia habitual, podrá considerarse que la mayoría de las aplicaciones duran 15 minutos (900 s) y si se está aplicando una media de 70 a 80 mW/cm² durante 900 s, dicha superficie habrá recibido entre 63.000 y 72.000 mJ en cada cm² de piel (mJ/cm²), es decir, *entre 63 y 72 J/cm²*:

$$\text{Potencia en cada cm}^2 \times \text{Tiempo en segundos} = \text{Trabajo en cada cm}^2$$

Con estos últimos valores, considerados como medios, se ha encontrado la dosis real que se está aplicando de forma cotidiana. Ahora cabe hacerse la siguiente pregunta: ¿es suficiente esta dosis, es excesiva o tal vez es escasa?

Según la experiencia, se ha utilizado durante muchos años y los resultados han sido positivos en general y en procesos crónicos. Sin embargo, ¿qué ocurre con los procesos agudos?

DOSIFICACIÓN DE RAYOS INFRARROJOS

Si estas dosis han ofrecido resultados terapéuticos durante años, pueden darse como buenas y partir de este punto como hipótesis de trabajo para ir encontrando las distintas dosificaciones en cada circunstancia, caso y proceso patológico.

Si los fisioterapeutas pretenden establecer tratamientos con una adecuada referencia, homogeneidad en el sistema de trabajo entre profesionales, investigación, liberarse del empirismo o del «ojo de buen cubero», necesitarán establecer una metodología basada, sobre todo, en un buen sistema de dosificación. No sirve de nada la estadística de multitud de casos si la base lógica y fundamental no se ha considerado.

Supóngase un paciente con las típicas molestias por contracturas musculares del trapecio, musculatura torácica y escapulo-humeral:

- Se decide aplicar IR de tipo A (IR-A) con lámpara estándar para que reciba 80 J/cm^2 .
- La potencia será retocada por la distancia de la lámpara o por el regulador de luminosidad hasta que el paciente sienta una percepción agradable del calor que recibe.
- Se mide la potencia recibida en la piel (de unos 90 mW/cm^2) y se procede a calcular el tiempo necesario para que se cumpla la dosis pretendida.

Se sabe que:

$$\text{Potencia} \cdot \text{Tiempo en segundos} = \text{Trabajo en julios}$$

Sin embargo, en este caso la potencia se mide por unidad de superficie:

$$\text{W/cm}^2 \cdot t = \text{J/cm}^2$$

Dado que ya se obtiene la dosis directamente, no es necesario contemplar la superficie tratada como ocurre con otras técnicas con un haz móvil o cabezal móvil (p. ej., el láser). Sin embargo, antes de continuar con el desarrollo, puede observarse esto en la práctica.



Práctica 16-1

En una aplicación de IR-A estándar se medirán 50 mW/cm^2 y se aplicará durante 500 s. ¿Cuántos J/cm^2 recibirá la zona tratada?



Práctica 16-2

En una aplicación de IR con láser, el paciente recibe un haz con 700 mW , que se aplicarán durante 500 s sobre una superficie de 60 cm^2 . ¿Cuántos J/cm^2 recibirá la zona tratada?

Como puede observarse (si el lector ha sido capaz de resolver ambos problemas), el proceso matemático es un poco diferente. Si se continúa con el desarrollo de la dosificación, se tiene lo siguiente:

- La dosis es un parámetro decidido y no puede pasar a incógnita.
- La potencia es un parámetro leído y se mantendrá sin posibilidades de ser incógnita.
- La única variable que puede ser incógnita es el tiempo en segundos.



Entonces:

- $t = \text{dosis} / \text{potencia}.$
- $t = \text{J/cm}^2 / \text{W/cm}^2.$
- $80 \text{ J/cm}^2 / 0,09 \text{ W/cm}^2 = 888,8 \text{ s } (14,8 \text{ minutos}).$



Práctica 16-3

Ejemplo para calcular la dosis a partir de una aplicación de forma empírica: se aplica IR-A a un paciente con lámpara estándar de manera que se miden 88 mW/cm^2 y la sesión durará 15 minutos. ¿Cuántos J/cm^2 recibirá el paciente?



Práctica 16-4

Se desea depositar 90 J/cm^2 sobre un paciente al cual se aplican 115 mW/cm^2 . ¿Cuánto tiempo durará la sesión?

Práctica 16-5

Se desea depositar una dosis de 80 J/cm^2 a un paciente sobre el que se mide una potencia de IR-A de 85 mW/cm^2 . ¿Cuánto tiempo durará la sesión?

DIFERENCIAS ENTRE INFRARROJOS ESTÁNDARES E INFRARROJOS LÁSER

Los sistemas convencionales de generar IR (centrados en IR-A) se basan en lámparas o barras radiantes que (Fig. 16-9):

- Emiten una amplia banda del espectro.
- Su potencia de emisión es considerable.
- No es fácil medir su potencia de emisión ni de recepción (salvo que se disponga del sistema medidor).
- La potencia generada se dispersa por una amplia zona (aunque depende de la focalización de la lámpara).
- Se irradia de manera constante y simultánea a toda la zona tratada, mientras que con

16

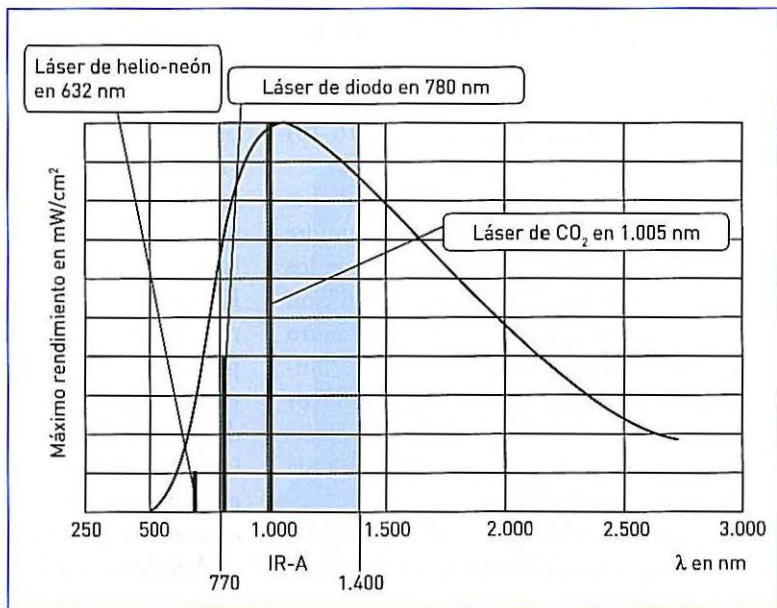


Figura 16-9. La curva indica el rango de emisión en una lámpara estándar. Las líneas verticales representan los láseres de uso habitual en fisioterapia. La lámpara estándar emite en muchas longitudes de onda. Los láseres emiten en una única longitud de onda. IR-A: infrarrojos de tipo A.

el láser debe esperarse al paso del rayo cada cierto tiempo.

- La sensación que percibe el paciente es de calor, que puede variar desde calor quemante hasta suave «calorcillo» (dependiendo de la distancia entre foco y piel).
- En caso de que distintas longitudes de onda generen distintos efectos fisiológicos, los IR estándar lo consiguen.
- El sistema es simple y muy barato si se compara con el láser.

El sistema láser es sólo una máquina que:

- Genera la misma luz que los sistemas convencionales.
- Se emite en una única longitud de onda (no una banda).
- Permite medir su potencia con precisión (si el haz es paralelo no perderá potencia con la distancia).
- La divergencia está reducida al mínimo posible.
- La potencia generada se puede concentrar en una pequeña superficie.
- Los únicos sistemas de láser que pueden alcanzar la potencia de las lámparas convencionales son el de CO_2 y el de Nd:YAG, los cuales no se pueden aplicar en un solo punto ya que quemarían. El de CO_2 siempre se dispersará en un barrido (Fig. 16-10) y el de Nd:YAG en un cono divergente.
- En el punto por donde pase el haz de luz cuando barre una zona establecida, durante el instante de paso, penetrará más que los sistemas estándares con la única condición de que supere su potencia por centímetro cuadrado; en caso de que diferentes longitudes de onda generen distintos efectos fisiológicos, los infrarrojos del láser los pierden todos excepto los correspondientes a la longitud de onda aplicada.
- Este sistema es bastante complejo y muy caro comparado con el sistema de lámparas convencionales.

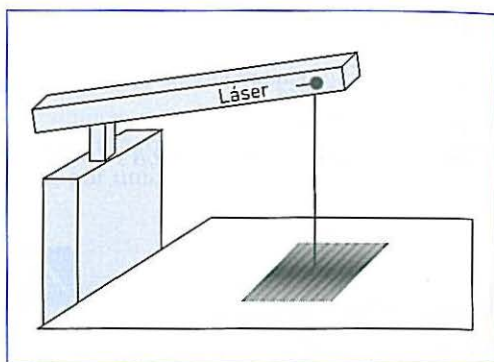


Figura 16-10. Los equipos de láser realizan un barrido con un rayo y cubren una zona tratada mediante pasadas repetidas durante el tiempo de sesión.

En primer lugar, el fisioterapeuta debe plantearse por qué se limitan las dosis en el láser a un máximo de 30 o 40 J/cm^2 (incluso menos, según las escuelas) si con los IR-A convencionales, en bastantes ocasiones, se superan los 100 J/cm^2 o si es perjudicial para el organismo superar los 100 J/cm^2 . Estas preguntas, por el momento, quedan a la interpretación de cada lector.

Si se comparan ambos métodos, no tiene nada que envidiar la simple y tradicional lámpara de IR-A al láser, pero al láser de CO_2 , ya que los otros sistemas de láser no alcanzan la potencia de los IR-A clásicos. Supóngase un láser de CO_2 que trabaja a 5 W reales sobre una superficie de barrido de $10 \cdot 10 \text{ cm}$ (100 cm^2). En cada centímetro cuadrado está aplicando 0,05 W ($50 \text{ mW}/\text{cm}^2$), valor que se encuentra por debajo de los habitualmente leídos con el vatímetro bajo la lámpara de IR. Eso sí, el láser ofrece la ventaja de mayor penetración en el instante en que pase por un punto (Fig. 16-10), circunstancia que no se volverá a repetir hasta que no vuelva a pasar después de haber completado el barrido. La lámpara convencional de IR está aplicando, en todo momento, su energía sin tener que esperar a la nueva pasada del barrido.

Asimismo, merece la pena reiterar la comparación entre ambos sistemas en cuanto a

la banda de emisión y sus efectos fisiológicos (Fig. 16-9). Suponiendo que cada tramo de la banda tuviera distintos efectos fisiológicos, el láser sólo cubriría los propios de su longitud de onda. Sin embargo, los IR-A clásicos aportarían diversidad de efectos de forma simultánea porque emiten un amplio espectro de longitudes de onda (aunque unas con mayor potencia que otras). No obstante, esta circunstancia no debe ser importante, dado que a la hora de seleccionar los aparatos de láser no se tiene en cuenta la longitud de onda en que trabaja. A pesar de ello, sería interesante investigar esta circunstancia, pues la aplicación de láser en cirugía lleva a pensar que pueden existir indicios sobre esta cuestión, dado que cada tejido que debe volatilizarse en cirugía requiere una mejor longitud de onda y es po-

sible que en distintas patologías resulten más adecuadas unas longitudes de onda que otras.

En el sistema de lámpara tradicional, suelen emplearse dos tecnologías distintas: lámpara de incandescencia y barras radiantes.

Las curvas de irradiación de ambas no coinciden de forma exacta, pero nada se afirma sobre la mayor o menor indicación de una sobre la otra aunque está más extendida la lámpara de incandescencia.

DISEÑO DE UN EQUIPO PARA APLICACIÓN DE INFRARROJOS DE TIPO A

Un equipo aplicador que cumpla con las características mínimas para dosificar de manera adecuada debe constar de (Fig. 16-11):

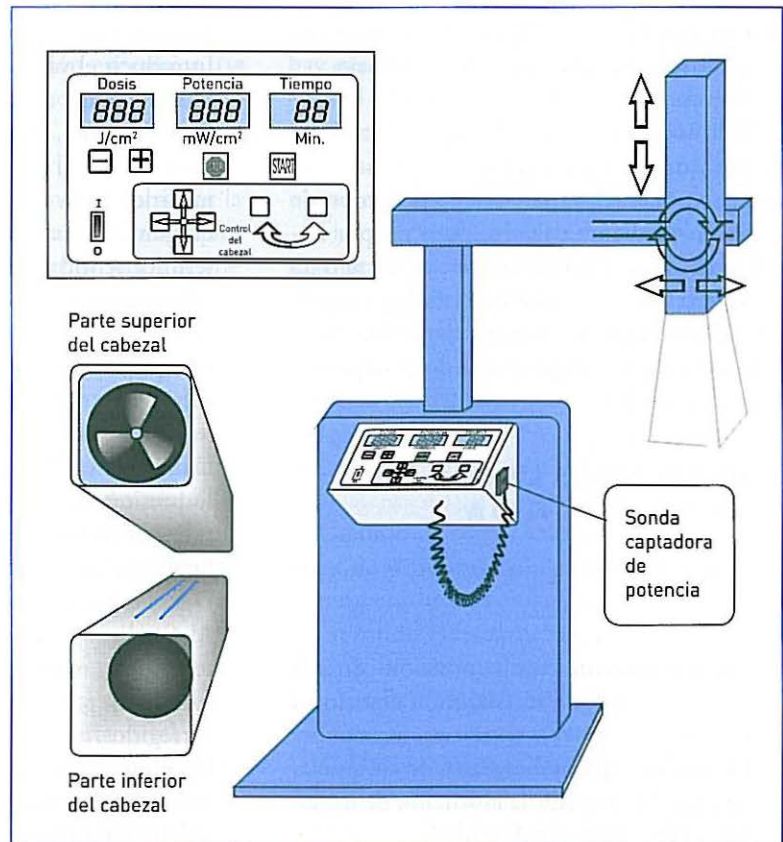


Figura 16-11. Hipotético equipo de IR con sistema de dosificación basado en los J/cm^2 que se desean depositar y su sonda lectora de la potencia recibida.

- Su sistema emisor mediante una lámpara de incandescencia para IR-A, preferibles las de 150 W con lente de Fresnel.
- Vatímetro o sonda para capturar la potencia recibida sobre la superficie corporal.
- Sistema electrónico que permita introducir por teclado el valor de la dosis y calcule, de forma automática, el tiempo que durará la sesión, de acuerdo con la dosis y la potencia.
- Reloj que controle la duración de la sesión y desconecte la lámpara en el momento de finalizar el tratamiento.
- Movilidad de los brazos para permitir la orientación del haz y su distancia al organismo.

Con un equipo basado en esta metodología de tratamientos pueden desarrollarse las investigaciones y estadísticas oportunas para encontrar las distintas dosis de su correspondiente enfermedad y mejores sistemas de trabajo.

Según lo expuesto en la [figura 16-11](#), cuando se introduce el valor de los J/cm^2 deseados, con el valor de la potencia leída por la sonda en W/cm^2 , ya se obtiene el tiempo de la sesión mediante cálculo, pero no por haber ajustado su valor. Entonces, ya no se trata de aplicar los IR-A durante el tiempo que se considere oportuno, sino que dependerá de la potencia y de la energía que se desee depositar sobre el paciente.

PROTOCOLO PARA APLICAR INFRARROJOS DE TIPO A

Ante todo debe seguirse un protocolo para aplicar IR-A:

- Situar al paciente en una posición cómoda y que contribuya a su relajación emocional y muscular.
- Desnudar la piel y limpiarla de sustancias que puedan impedir la absorción de los rayos (cubrir zonas no deseadas).
- Tener en cuenta que, si se aplican medicamentos de uso tópico, el calor acelera su absorción.
- El paciente debe colocarse las gafas protectoras para evitar que los IR-A incidan sobre los ojos.
- Indicar al paciente que no toque la lámpara irradiadora ni sus elementos cercanos.
- Decidir la dosis que se pretende aplicar.
- Decidir la zona tratada y su campo para alejar o acercar el foco sin olvidar que la proximidad genera sensación de calor excesivo y la lejanía poco estímulo térmico. Además, esta circunstancia influirá de forma directa en el tiempo de la sesión, porque con esta maniobra en realidad se está ajustando la potencia.
- Dirigir el conjunto de la carcasa con su lámpara bien orientado hacia la zona tratada y comprobar que los brazos quedan bien sujetos.
- Introducir el valor de los J/cm^2 que se pretenden aplicar al paciente (dosis).
- Seguidamente, iluminar la lámpara y proyectar sobre el paciente el haz de IR para medirlo con la sonda.
- Preguntar al paciente sobre la percepción térmica sentida para corregirla si no coincide con nuestro objetivo o porque el paciente manifieste molestias.
- El equipo captura el valor en vatios y de forma automática calcula el tiempo de la sesión.
- Una vez que se ha presentado en los dígitos, se presiona la tecla START y se espera el transcurso del tiempo y su desconexión al finalizar éste.
- Durante la sesión, estar atentos a su evolución.
- Al finalizar el tratamiento, observar los resultados, manifestaciones del paciente y evolución, para mantener los parámetros o corregirlos.
- Finalizar el tratamiento con el número de sesiones suficientes como para conseguir los objetivos propuestos.

EFFECTOS FISIOLÓGICOS

Dado que el punto de vitalidad normal en el ser humano es muy crítico (37°C), deben evitarse los descensos importantes de la temperatura ambiente, así como las subidas que no permitan la adecuada liberación del calor generado por el metabolismo.

En determinados procesos patológicos (degenerativos y crónicos) en que el metabolismo de una zona se reduce, es conveniente aportar energía para reactivarlo de forma local. Sin embargo, otros que cursan con reacción inflamatoria (agudos) acarrearán el aumento del metabolismo y de su temperatura local, por lo que no requerirán aporte energético, sino eliminación del exceso térmico mediante la aplicación de frío.

Esta circunstancia es la primera que debe descartarse a la hora de decidir la indicación de IR-A. Ello se resuelve mediante la adecuada exploración y conclusión sobre si la patología requiere aporte o disminución energética. (v. «Curvas características del comportamiento biológico», en el cap. 6).

Una forma simple de averiguar si el proceso se halla muy inflamado consiste en situar la mano abierta con la palma hacia la zona explorada, pero a 1 o 2 cm y tratar de sentir la irradiación de calor corporal; al desplazar la mano, puede localizarse el lugar de mayor afectación (Fig. 16-12). En muchas ocasiones, persiste una ligera inflamación que lucha por resolver el proceso patológico, pero que convive con fibrosis o edemas que estrangulan el aporte de nutrientes e iones, que impiden la actividad metabólica suficiente. Así pues, a pesar de cierta inflamación, la administración de calor está indicada.

Velocidad del aporte energético

En casos en que se considere que los IR-A están indicados, a pesar de cierto nivel inflamatorio (subagudos), es conveniente que el aporte energético no sea muy acelerado, circunstancia que se resuelve con la disminución

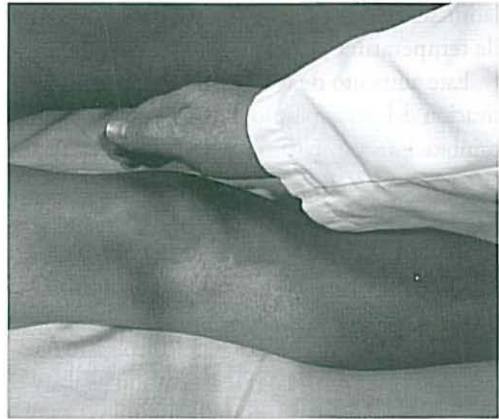


Figura 16-12. Con la mano captando irradiación de infrarrojos procedente de los focos inflamatorios es posible delimitar los procesos patológicos.

en la potencia, con la separación de la lámpara y la medición con el vatímetro que debe quedarse entre 20 y 30 mW/cm^2 . Ello no impide que la dosis se mantenga en valores altos, pues hay que aumentar el tiempo de la sesión. Si se aplican 100 J en 2 s , es probable que se cause una quemadura, pero si los mismos 100 J se depositan de forma lenta durante media hora, no se generará quemadura alguna.

Si se pretende acelerar la administración de energía, se aumentará la potencia recibida, considerando que los sistemas termorreguladores del organismo sean capaces de absorberla; de no considerar esta circunstancia, se tendería rápidamente a la quemadura.

Respuesta biológica

Cuando el organismo recibe calor, gran parte de él lo capta y lo absorbe aumentando la temperatura en los tejidos superficiales y provocando las respuestas de termorregulación de la zona mediante vasodilatación local en superficie, en primer lugar, seguida de vasodilatación profunda y sudoración.

Si los dos sistemas anteriores no controlan de forma adecuada la regularización de la temperatura en los 37°C , el sistema termorregu-

lador se ve saturado con importante aumento de temperatura y actúa de forma paradójica.

Este aumento de temperatura local genera activación del metabolismo, aceleración de los intercambios iónicos y favorece todos los procesos celulares. Asimismo, la vasodilatación y el aumento del riego sanguíneo y linfático contribuyen al lavado de residuos acumulados, procedentes del metabolismo y el aporte de nuevas sustancias nutrientes y reequilibradoras de los anteriores desequilibrios iónicos, debidos al proceso patológico. Esto favorecerá, en gran medida, la regeneración tisular y el alivio de los dolores de origen bioquímico.

Además, la percepción sensitiva de calor agradable desencadena en el sistema neurovegetativo del paciente la activación del sistema parasimpático que le conduce a sopor, relajación, secreción de neurotransmisores inhibidores de los diversos dolores y relajación muscular.

El exceso de potencia recibida provoca que aparezcan, de forma veloz, los mecanismos termorreguladores de sudoración (por incapacidad de la vasodilatación para termorregular) y generen percepción de calor quemante y molesto, por lo cual se desencadenará la activación del sistema simpático y una actitud de defensa, y quizá, aumento de sus molestias.

Asimismo, si se mantiene excesivo tiempo la aplicación de calor, se conducirá al organismo a un aumento general de su temperatura, así como a una vasodilatación excesiva y descontrolada con extravasación de elementos formes y la aparición de pequeñas Petequias: son las viejas «cabritillas» de las costureras ante los braseros; ¿cuántos J/cm^2 generarán las «cabritillas»?

Estas circunstancias deben evitarse, tanto el aumento térmico generalizado como la sudoración o la vasodilatación paradójica, pues contribuyen a la necesidad de diseñar el adecuado sistema de dosificación.

INDICACIONES

De acuerdo con lo expuesto y sus respuestas biológicas, las indicaciones pueden concretarse en:

- Procesos de artrosis en articulaciones no profundas.
- Contracturas musculares.
- Dolores de origen bioquímico.
- Úlceras por decúbito.
- Déficits circulatorios superficiales.
- Déficits metabólicos locales y superficiales.
- Tendinitis, tenosinovitis, capsulitis y esguinces en procesos subagudos y crónicos aunque cursen con moderado edema.
- Eritema pernio (sabañones).
- Alteraciones dermatológicas debidas a déficit circulatorio.
- En procesos donde no pueda aplicarse termoterapia profunda.
- En derrames articulares persistentes y densos.
- Previa valoración, puede estar indicada la aplicación en accesos purulentos próximos a evacuar a través de la piel.

PRECAUCIONES

Por las peculiaridades de esta técnica, se debe:

- Vigilar que no caiga la lámpara sobre el paciente y avisarle de que no tenga la ocurrencia de tocarla.
- Eliminar de la piel pomadas u otras sustancias extendidas sobre ella, salvo que se pretenda acelerar su absorción.
- Advertir al paciente que no mire directamente a la lámpara, es decir, que no reciba IR-A en los ojos, pues existe cierta polémica sobre la generación de cataratas al recibir IR-A de forma directa.
- Controlar que la temperatura general no aumente.
- Tener precaución al aplicarlos sobre zonas en que se localicen osteosíntesis a unos milímetros de profundidad.
- Evitar las varices en su primer estadio.
- Evitar las heridas en proceso de cicatrización que puedan sangrar o evacuar otros exudados.

- Evitarse en pacientes sometidos a medicación de anticoagulantes y en aquellos en que existan úlceras o heridas en proceso de cicatrización.
- Evitarse en casos de hemofilia.
- Evitarse en pacientes con insuficiencia cardiorrespiratoria.
- Evitarse en procesos que cursen con edema importante.
- Evitarse en denervaciones o parálisis parciales, por su baja respuesta neurovegetativa.
- Evitarse en ciertas alteraciones de la piel que deben someterse a la consideración del dermatólogo.
- Evitarse en viejos procesos tuberculosos.
- Ir con precaución cuando las osteosíntesis se hallen muy cercanas a la piel (tanto para el calor como para el frío).

CONTRAINDICACIONES

No debe aplicarse en:

- Heridas sangrantes o purulentas.
- Inflamaciones agudas.
- Pacientes con fiebre.
- Parálisis periféricas totales y graves (sobre todo, con pérdida de la sensibilidad térmica).
- Cicatrices queloideas.
- Derrames intraarticulares e intratisulares recientes.
- Edemas importantes.
- Tromboflebitis.
- Varices dilatadas.
- Procesos cancerígenos.
- Procesos infecciosos y abscesos que puedan evacuar hacia cavidades o al ambiente intratisular.
- Procesos tuberculosos activos y otras infecciones en tejidos profundos que puedan sufrir reactivación.

Una precaución que no parece procedente contemplar, por simple y lógica, se refiere a



Figura 16-13. Rejilla metálica que protege la lámpara de infrarrojos para evitar tocarla cuando está iluminada o recién apagada.

los cuidados con la lámpara por el riesgo de caídas sobre el paciente o por el hecho de que el paciente la toque directamente cuando ha estado encendida varios minutos. Sin embargo, la experiencia dicta que son riesgos que en la práctica se presentan con consecuencias de quemaduras.

Las quemaduras se deben a la transmisión de calor por conducción, es decir, por contacto directo entre dos cuerpos entre los cuales hay gran diferencia de temperatura (cristal de la lámpara y la piel).

Las causas más frecuentes de estos accidentes se deben, por un lado, al riesgo de deslizamiento de los brazos reguladores con caída del conjunto sobre el paciente y, por el otro, al hecho de que el propio paciente se retira la lámpara sin el control debido y de forma accidental toca el cristal con altas temperaturas.

Algunos fabricantes están poniendo remedio y protegen la cúpula de la lámpara con un entramado metálico que impide el acceso directo al cristal de ésta (Fig. 16-13). Este enrejado también se calienta de manera excesiva.

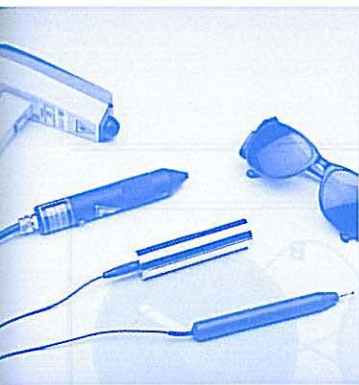


Autoevaluación

Material complementario en el sitio web

- Autoevaluación





17

Laserterapia

Contenido

- Amplia introducción a la física de la luz
- Explicación de los sistemas de láser básicos que se utilizan en fisioterapia
- Clasificación del láser en función de algunas de sus características, como longitud de onda, modo de generarlo, modo de aplicarlo, etcétera.
- Sistema de dosificación y sus variantes adaptadas a cada modalidad de láser
- Efectos biológicos más importantes, indicaciones, precauciones y contraindicaciones
- Descripción de hipotéticos paneles de manejo de los diferentes sistemas de láser usados en fisioterapia

Objetivos de aprendizaje

- Comprender la física de la luz y sus propiedades.
- Dominar las operaciones con múltiplos y divisores para realizar los cálculos con seguridad.
- Saber los modos de laserterapia usada en fisioterapia y las longitudes de onda fundamentales.
- Dominar de modo práctico los diferentes sistemas de dosificación y sus fórmulas.
- Conocer los efectos biológicos, las indicaciones, las precauciones y las contraindicaciones.

Síntesis conceptual

- ✓ Este capítulo pretende profundizar en la terapia basada en el láser mediante una introducción a la física de la luz y sus leyes. Asimismo, se diferencian las características de la luz que no es láser y la luz láser.
- ✓ Se profundiza en los sistemas de dosificación y en los sistemas de láser usados en fisioterapia.
- ✓ Se proponen unos paneles de manejo para equipos de laserterapia con las variantes de modos pulsados o continuos, de gas o de diodo, puntuales o de barrido, etcétera.
- ✓ Se realiza una breve introducción a la laserpuntura y las frecuencias de uso habitual en esta metodología, como las de Nogier, las de Bahr y las de Reiningger.
- ✓ A modo de indicación se sugieren dosis para algunos procesos patológicos muy habituales que se detallan y se analizan para evitar el típico recetario en una tabla. De la misma manera, pueden encontrarse las precauciones y contraindicaciones más comunes.

INTRODUCCIÓN

Esta técnica consiste en aplicar al organismo energía del espectro electromagnético en la banda de la luz para facilitar su actividad bioquímica. El láser en fisioterapia debe desmitificarse, pues no es otra cosa que un procedimiento tecnológico, por el cual se consigue que la luz así obtenida posea determinadas propiedades, que se describirán más adelante. Sin embargo, en cuanto a la luz, es exactamente igual que la normal. No obstante, dicha tecnología le permitirá al fisioterapeuta conocer la potencia luminosa exacta disponible en todo momento y controlarla. Ello implicará pensar con precisión en la cantidad de energía luminosa que recibirá el paciente de forma medida y precisa (v. cap. 16).

La palabra láser, incorporada ya a la lengua española en forma de sustantivo, no es otra cosa que una abreviatura de *light amplification by stimulated emission radiation*; traducido por *luz amplificada estimulada por emisión de radiación*. Asimismo, existe la expresión máser (microonda amplificada estimulada por emisión de radiación).

La luz del láser es potente porque aporta gran cantidad de energía concentrada en un punto. A continuación se aporte un ejemplo.

Supóngase una esfera hueca (Fig. 17-1 A). En su interior (en el centro geométrico) contiene una lámpara o bombilla que emite luz con una potencia de 100 W. Su luz se reparte en todas las direcciones mediante infinitos rayos de luz y puede apreciarse cómo se ilumina cualquier punto de la cara interior de la esfera. A partir de estas premisas, puede imaginarse con claridad la iluminación que puede recibir cada centímetro cuadrado de la superficie interna de la referida esfera.

Si pudiera lograrse que todos los rayos se fueran superponiendo unos sobre otros en un único haz que contuviera todos los generados (a semejanza del plegado de un abanico) hasta que sólo se observara un haz en una única dirección con toda la energía emitida por la lámpara,

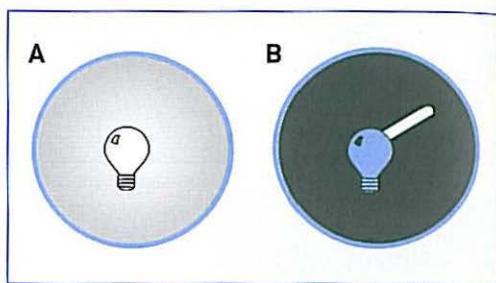


Figura 17-1. A) Una lámpara reparte su potencia luminica en todas las direcciones, y la densidad por cada centímetro cuadrado está determinada por la división de la potencia entre toda la superficie. B) Toda la potencia luminica de la lámpara se redirige y se concentra en un punto, como es el caso del láser.

sería difícil imaginar la cantidad de energía que recibiría cada centímetro cuadrado en el punto receptor, al contener dicho haz 100 W en una pequeña superficie (Fig. 17-1 B). A modo de comparación, piénsese en la concentración de luz que produce una lupa que sólo cuenta con los rayos que recoge en su superficie (Fig. 17-2).

GENERACIÓN DE LA LUZ

La luz es emitida por los átomos cuando éstos mantienen sus electrones sometidos

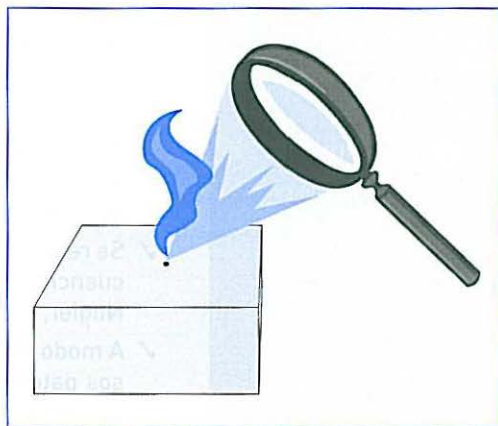


Figura 17-2. Ejemplo que muestra la potencia que puede desarrollar la concentración de energía en un punto.

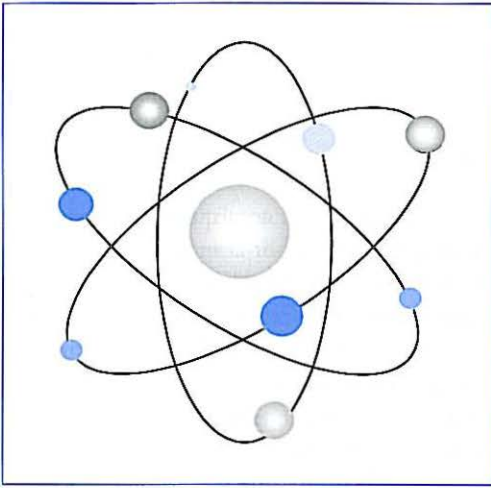


Figura 17-3. Esquema de un átomo en equilibrio con los orbitales de la corteza en constante agitación.

a un estado de agitación considerable (Fig. 17-3). De esta forma, cuando los electrones rompen los equilibrios de circulación por sus respectivas órbitas (al saltar de unas a otras) porque alguna energía, eléctrica, cinética, luminosa, electromagnética u otra, los estimula, absorben parte de la energía aplicada para liberarla de inmediato en forma de fotones o cuantos de energía contenidos en ondas elec-

tromagnéticas del espectro luminoso. Es el fenómeno denominado emisión de radiación.

Cuando un átomo absorbe energía (porque se ha excitado), dicha energía permite la emigración de sus electrones desde órbitas cercanas al núcleo hacia el exterior (Fig. 17-4 A). En el momento que cede la aplicación de energía, los electrones emigrados vuelven a su órbita original (cercana al núcleo) y liberan la energía absorbida (Fig. 17-4 B). Sin embargo, si la energía absorbida por el átomo no era precisa en sus parámetros y en cantidad, la irradiada o emitida en forma de fotones posee características precisas de longitud de onda y cantidad (potencia).

La utilización del láser en la industria para cortes de materiales o su empleo en cirugía se basa en la concentración de gran cantidad de energía sobre un pequeño punto con la posibilidad de regular la superficie del punto y la potencia aplicada que, en función del tiempo y el movimiento, se convierte en una gran herramienta (Fig. 17-4 C). Lógicamente, en fisioterapia, se usará para aportar energía al organismo de forma moderada, medida y controlada sin causar daños celulares.

En el generador de láser, la liberación de un fotón por parte de un átomo y la invasión de

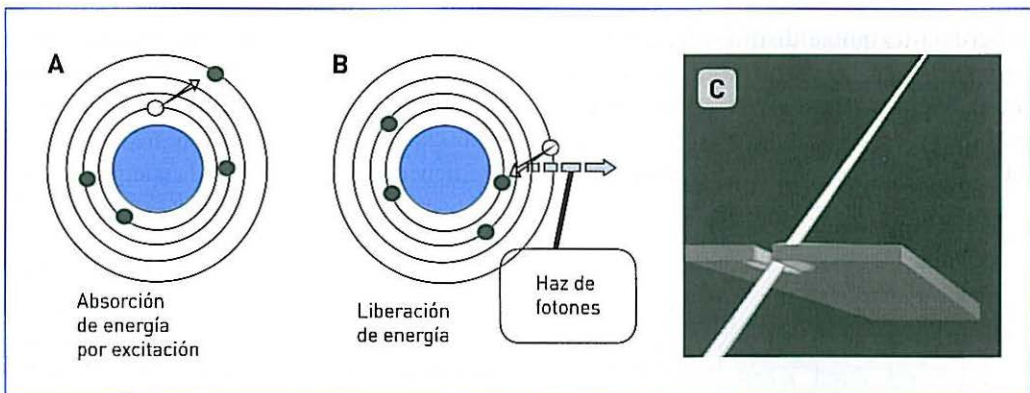


Figura 17-4. A) El átomo (excitado) por un estímulo energético externo provoca el salto de un electrón a orbitales más externos. B) El electrón regresa a su orbital y devuelve la energía en un rayo de fotones. C) Se representa un corte de materiales industriales con un rayo láser, en el cual se muestra su poder energético.

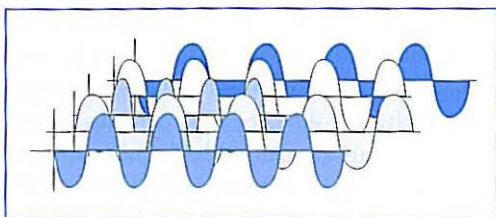


Figura 17-5. Ondas no coherentes y policromáticas.

un segundo provocan que éste, a su vez, libere otro fotón. Los dos fotones (juntos y a la par) van a estimular a otros, con lo que aumenta el número de electrones estimulados y fotones emitidos en progresión aritmética, es decir, se trata de una reacción en cadena.

Si los átomos utilizados en este fenómeno son distintos, cada uno emitirá en su propia longitud de onda y distinta energía cuántica. Esto proporcionará una luz en diversos colores, policromática (Fig. 17-5). En cambio, si los átomos usados son homólogos, las características de la radiación emitida serán las mismas para todos, lo que permitirá disponer de una energía luminosa monocromática (Fig. 17-6).

Este fenómeno llevará a establecer una diferencia fundamental entre la luz normal y la luz procedente de la tecnología láser. De esta forma, se observa en la figura 17-5 que la luz policromática posee distintas longitudes de onda, circunstancia que provoca interferencias entre ellas, divergencia del haz y nuevos colores (luz no coherente). La figura 17-6 muestra todas las ondas iguales y superpuestas, sin

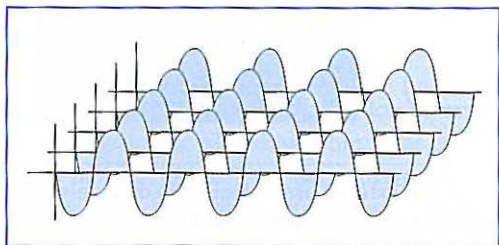


Figura 17-6. Ondas coherentes monocromáticas.

interferencias, sin divergencia y se mantiene el mismo color en un rayo paralelo (luz coherente).

Luz no coherente

La luz no es otra cosa que energía electromagnética emitida por la materia (como se ha descrito antes) en determinados niveles de agitación atómica. Al ser emitida, se traslada por el espacio vacío y a través de algunos cuerpos que permiten su paso entre sus espacios interatómicos e intermoleculares. Avanza como ondas electromagnéticas al igual que las ondas de radio, televisión, rayos X, calor, etcétera.

Desde siempre, el ser humano ha estado rodeado de ondas electromagnéticas producidas por focos naturales y, dada su existencia, los organismos vivos evolucionaron de forma que han desarrollado detectores para captar dichas bandas de ondas electromagnéticas y utilizarlas en su provecho y en su relación con el medio.

En cuanto al calor (ondas electromagnéticas en la banda de los rayos infrarrojos), en la piel se poseen terminaciones nerviosas especializadas para detectarlo. Para la luz, en la retina existen terminaciones nerviosas encargadas de captarla y convertir sus diferencias u oscilaciones en información para el cerebro, lo que permite al organismo relacionarse con el medio y el resto de seres vivos que lo rodean.

El órgano del oído también está diseñado para captar ondas sonoras aunque en este caso no tienen nada que ver con la energía electromagnética. Las ondas sonoras proceden de la energía cinética.

La luz es una radiación electromagnética que también manifiesta efectos sobre las reacciones químicas, desde simples hasta muy complejas, fenómenos que aprovechan los organismos vivos, como la función clorofílica de las plantas verdes, la síntesis de vitamina D en la piel, la destrucción de pequeños microorganismos (en bandas de ultravioletas) y

otros efectos que se están descubriendo y describiendo (algunos, incluso, están por descubrir o están sometidos a polémica), sobre todo desde la aparición del fenómeno tecnológico del láser.

La banda del espectro electromagnético de la luz se halla a continuación de las microondas y antes de los rayos X. Después de los rayos X se encuentran las llamadas radiaciones cósmicas (v. cap. 1, Tabla 1-2). Dicha banda se divide en tres grandes grupos:

- Infrarrojos (no visibles):
 - tipo C,
 - tipo B y
 - tipo A (ceranos).
- Luz visible: rojo, naranja, verde, azul, amarillo, añil y violeta.
- Ultravioletas (no visibles):
 - tipo A,
 - tipo B y
 - tipo C (inicio de las radiaciones ionizantes).

El espectro electromagnético, en general, puede medirse de dos formas diferentes: por frecuencia de oscilación de las ondas y por longitud de onda entre dos crestas sucesivas (Fig. 17-7).

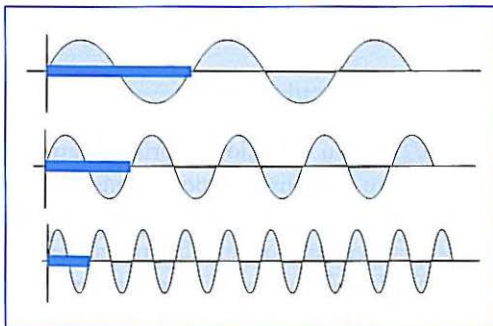


Figura 17-7. La longitud de onda es el vector que une dos puntos iguales de las ondas.

La frecuencia es inversamente proporcional a la longitud de onda, ya que para obtener una de ellas se divide la velocidad de propagación (como constante) entre la otra (Fig. 17-8).

La velocidad de propagación de las ondas del espectro electromagnético se expresa en metros por segundo (m/s), dado que es el producto de la longitud de cada evolución por el número de evoluciones. La frecuencia se expresa en hercios (ciclos por segundo) y es el resultado de dividir la velocidad de propagación entre la longitud de onda. La longitud de onda (distancia entre dos ondas en metros) es el cociente de la velocidad de propagación entre la frecuencia (Fig. 17-8).

Con el fin de evitar el manejo de grandes cantidades con muchos ceros, se recurre a trabajar con múltiplos y divisores de la unidad, por lo que «al valor» usado se le anteponen los prefijos del sistema internacional de medidas (SIM):

- Tera = $1 \cdot 1.000.000.000.000$ o $1 \cdot 10^{12}$.
- Giga = $1 \cdot 1.000.000.000$ o $1 \cdot 10^9$.
- Mega = $1 \cdot 1.000.000$ o $1 \cdot 10^6$.
- Kilo = $1 \cdot 1.000$ o $1 \cdot 10^3$.
- Unidad = $1 \cdot 1$.
- mili = $1/1.000$ o $1 \cdot 10^{-3}$.
- micro = $1/1.000.000$ o $1 \cdot 10^{-6}$.
- nano = $1/1.000.000.000$ o $1 \cdot 10^{-9}$.
- pico = $1/1.000.000.000.000$ o $1 \cdot 10^{-12}$.
- femto = $1/1.000.000.000.000.000$ o $1 \cdot 10^{-15}$.
- ato = $1/1.000.000.000.000.000.000$ o $1 \cdot 10^{-18}$.

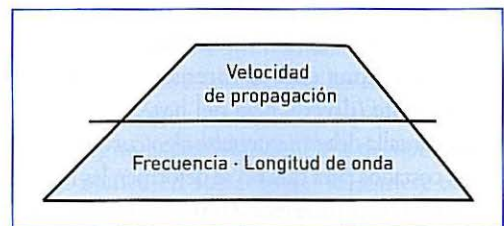


Figura 17-8. Ecuación que relaciona entre sí la longitud de onda, la frecuencia y la constante de la velocidad de propagación.

Ejercicios prácticos

1. ¿Qué longitud de onda (λ) tiene una radiación cuya frecuencia es 2.450 MHz?

$$\lambda = \frac{300.000.000 \text{ m/s}}{2.450.000.000 \text{ Hz}} = 0,122 \text{ m}$$

2. ¿Cuál es la frecuencia de una onda cuya longitud es 632 nm?

$$300.000.000/0,000000632 = 4,747 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

$$(474.700.000.000.000 \text{ Hz}).$$

$$474.700.000.000.000/1.000.000 =$$

$$474.700.000 \text{ MHz.}$$

$$474.700.000.000.000/1.000.000.000 =$$

$$474.700 \text{ GHz.}$$

3. ¿A qué frecuencia se está haciendo referencia cuando se afirma que se necesita aplicar láser infrarrojo de CO₂ en 1.006 nm?

$$1.006 \text{ nm} = 0,000001006 \text{ m}$$

$$F = \frac{300.000.000 \text{ m/s}}{0,000001006 \text{ m}} = 2,982107355865 \cdot 10^{14} \text{ Hz} =$$

$$(298.210.735.586.500 \text{ Hz o } 298,2 \text{ GHz})$$

- El haz de rayos contiene distintas intensidades lumínicas en función del grado de luz que le permite pasar la semiopacidad de la película (pasa a través de ciertos elementos más o menos conductores de esta energía).
- Puede verse la pantalla porque la luz se refleja en ella (reflexión).
- Pueden verse las figuras enfocadas y nítidas porque las lentes del proyector refractan la luz de forma regulada para conseguir la nitidez en la pantalla (refracción).
- Si se colocase la mano hacia el frente y próxima al objetivo del proyector, podría notarse el calor procedente de las intensas ondas de energía luminosa, de manera que si se aleja la mano se sentirá que el calor cesa. La luz lleva energía y su densidad disminuirá con la distancia si el haz diverge.

Entre estas observaciones, se intuyen las leyes que regulan la luz en general, leyes que interesan para compararlas con la luz procedente de la tecnología láser (ya que ésta rompe algunas de las que rigen la luz que no es láser o no coherente):

- La luz que no es láser está formada por corpúsculos o por ondas.
- Posee direccionalidad, reflexión, refracción y es policromática.
- Se somete a la ley de la distancia, a la ley de la divergencia, a la ley de la absorción y a la ley de la intensidad/tiempo.

LEYES DE LA LUZ

Si se observa lo que ocurre durante la proyección de una película en una sala oscura, uno se dará cuenta de que los haces de rayos luminosos emergentes del proyector obedecen a una serie de leyes físicas:

- Es interesante apreciar cómo la pantalla debe estar a determinada distancia para conseguir el tamaño adecuado de la imagen y contar con la intensidad lumínica suficiente (divergencia del haz).
- La pantalla debe mantenerse algo curvada hacia los costados para que no se deformen las figuras y toda la superficie reciba la misma luminosidad (concavidad del plano receptor, ángulo α).
- El haz de rayos no cambia de sentido desde su origen hasta la pantalla (direccionalidad).

Teoría corpuscular

Isaac Newton enunció la teoría que atribuye a la luz su composición por corpúsculos de materia (fotones) procedentes de los átomos, cuando sus electrones se encontraban en estado de agitación por aplicarles determinadas energías. La energía radiada por los átomos se mide en cuantos de energía y ésta depende de la constante de Planck y la frecuencia.

Teoría ondulatoria



Christiaan Huygens aportó su teoría, en la que explicaba que la luz estaba formada por ondas de energía electromagnética de determinada longitud de onda y su frecuencia correspondiente. En realidad, se presentan las dos de forma simultánea, es decir, sobre las ondas cabalgan los fotones.

Direccionalidad

La propagación de la luz avanza en línea recta por el vacío o por sustancias que permitan su paso (sustancias transparentes). La línea recta se mantiene siempre que el haz no cambie de medio o fluido con distintas densidades de materia (Fig. 17-9).

Reflexión

Cuando la luz alcanza un objeto o superficie de un medio o fluido distinto a aquel en que se encuentra, en parte se refleja y en parte se absorbe, en función de las condiciones y la angulación de choque, junto con las características de la materia y de la superficie del objeto: cuanto más pulida esté, mayor nivel de reflexión existirá. Asimismo, a mayor angulación distinta de la perpendicularidad a la superficie, mayor reflexión se manifestará, en perjuicio del menor porcentaje de penetración en la materia (Fig. 17-10).

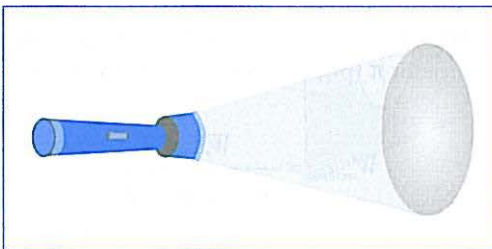


Figura 17-9. Los rayos de luz, salvo que estén focalizados, tienden a ser rectos y divergentes.

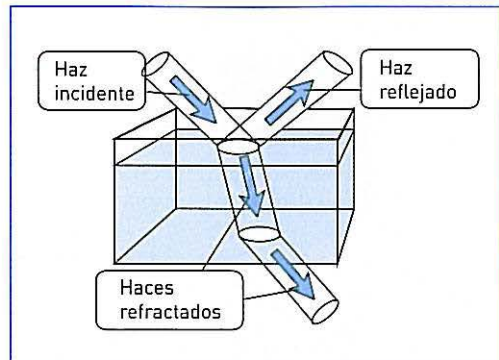


Figura 17-10. Reflexión y refracción de los rayos de luz.

Refracción

Cuando los rayos de luz son absorbidos y pasan de una sustancia a otra o de un medio a otro de distinta densidad, se produce un cambio de dirección en su trayectoria que implica, a su vez, cambios en el color, es decir, en su frecuencia o longitud de onda (Fig. 17-10).

Policromatismo

Policromatismo significa que la luz, por lo general, está compuesta por varios colores aunque pueden predominar unos sobre otros e, incluso, filtrarse uno del conjunto. Lo cierto es que es muy difícil conseguir la pureza absoluta, salvo con tecnología láser.

La coloración no es otra cosa que la detección por el ojo de una frecuencia o longitud de onda determinada. Si el ojo detecta varios colores, estará percibiendo varias longitudes de onda de manera simultánea.

Al mezclarse e interferirse las distintas longitudes de onda de todo el espectro visual, se consigue la luz blanca. Para descomponer la luz blanca en sus colores, se somete el haz blanco al paso por un prisma de cristal y, por efecto de refracción, emergerán por el lado opuesto del prisma las distintas longitudes de onda separadas y delimitadas (Fig. 17-11).

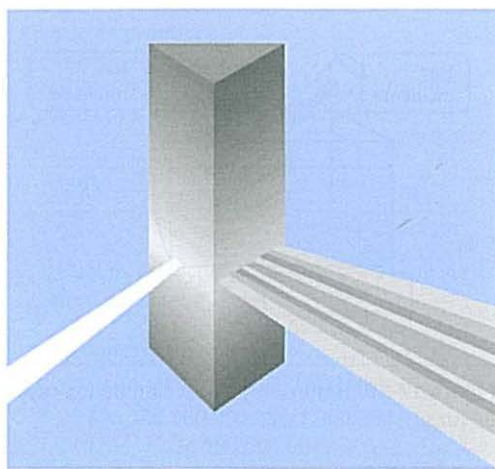


Figura 17-11. Haz de luz blanca al pasar por un prisma de cristal. La luz refractada emerge separada por sus distintas longitudes de onda o colores.

17

Ley de la distancia o divergencia

Dado que la luz ambiental está formada por distintas longitudes de onda (distintos colores), ello provocará que los rayos se separen unos de otros en su avance de forma que la densidad de los rayos por unidad de superficie disminuye (decrece la densidad de energía). Por ello, la potencia de la luz normal o ambiental recibida en la unidad de superficie disminuye, como media, de forma inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que separa al objeto del foco, es decir:

$$W_{\text{recibida}} = \frac{W_{\text{emitida}}}{d^2}$$

Ejemplo. Frente a una medida de 1.000 W, procedente de un punto luminoso a 1 m de distancia en una superficie determinada, ¿cómo iría disminuyendo en teoría su potencia metro a metro? (Fig. 17-12):

- A 1 m = 1.000 W.
- A 2 m = $2 \cdot 2 = 4$; $1.000/4 = 250$ W.
- A 3 m = $3 \cdot 3 = 9$; $1.000/9 = 111,11$ W.
- A 4 m = $4 \cdot 4 = 16$; $1.000/16 = 62,5$ W.

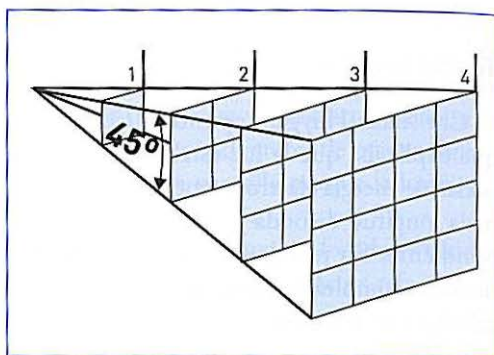


Figura 17-12. Si la divergencia es de 45°, la pérdida de potencia cae de forma inversa al cuadrado de la distancia.

Se afirma que disminuye de este modo, «como media», con luz normal, ya que se parte de la base que los rayos divergen 45° entre sí. Sin embargo, si se maneja luz enfocada, dirigida o colimada en distintos grados de divergencia, habrá que aplicar la siguiente fórmula para calcular la pérdida producida por la distancia entre el foco y la pantalla (Fig. 17-13). La energía recibida por unidad de superficie, a cierta distancia del foco, es inversamente proporcional al cuadrado del producto de la distancia por la tangente del ángulo de divergencia del foco, es decir:

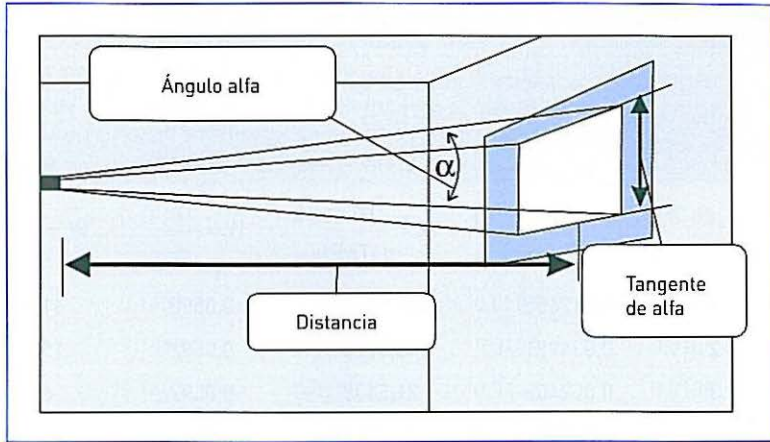
$$W_{\text{recibida}} = \frac{W_{\text{emitida}}}{(d \cdot \tan \alpha)^2}$$

Esto se cumple siempre que se considere la superficie iluminada como un cuadrado perfecto. En cambio, si en su lugar el foco es circular, a la fórmula se le añadirá el factor multiplicador π (pi), es decir, 3,1416 (Fig. 17-14):

$$W_{\text{recibida}} = \frac{W_{\text{emitida}}}{(d \cdot \tan \alpha)^2 \cdot \pi}$$

Las tres últimas fórmulas aproximativas son útiles en los tratamientos de fisioterapia, pues

Figura 17-13. Proyección cuadrada o rectangular, típica de la emisión de láser en barrido con un rayo.



se consideran que se aplicará el láser en superficies planas (aunque en la práctica abundarán las convexas). En realidad, para calcular con la máxima precisión, debiera tenerse presente que la superficie iluminada es un casquete esférico cóncavo, de radio igual a la distancia entre foco y pantalla.

En la [tabla 17-1](#) de valores indicadores de disminución en potencia, pueden apreciarse las tangentes correspondientes a los cincuenta primeros grados (al servirse de la tabla) con sus resultados después de aplicar las tres fórmulas expuestas. Los cálculos están realizados a 130 m con una potencia en origen de 1.000 W.

Es importante observar cómo en los 45° coinciden los resultados mediante las dos fórmulas, tanto para superficies cuadrangulares como para circulares.

Ley de la concavidad

Cuando avanza un haz de rayos procedente de un foco que no produce concentración, éste va aumentando su anchura de manera progresiva, es decir, va divergiendo ([Fig. 17-15](#)).

Esto implica que si llega luz a una superficie «plana» procedente de un punto, recibirá más energía en la zona iluminada por los rayos centrales del foco que en los bordes de dicha superficie, sobre todo, debido a la mayor longitud del vector que representa los rayos del borde respecto a los rayos del centro, según la siguiente fórmula:

$$I_d = I_c \cdot \cos \beta$$

La intensidad del rayo divergente (I_d), sobre una superficie plana, es igual a la intensidad del rayo central (I_c) por el coseno del ángulo formado entre ambos (β).

Si en los párrafos anteriores se despreciaba este concepto y se daba por bueno que toda la superficie recibía la misma luminosidad, era por considerar, como aproximación aceptable,

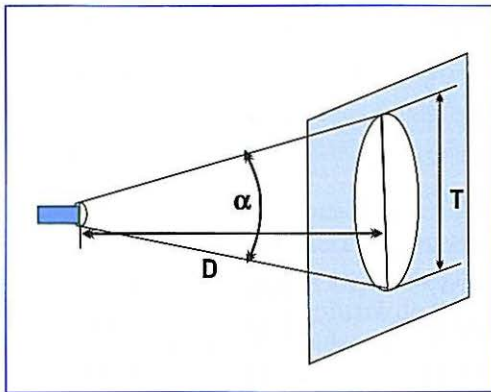


Figura 17-14. Proyección circular típica de las emisiones de láser en cono divergente. α: ángulo alfa; D: distancia; T: tangente.

Tabla 17-1. Tabla de disminución luminosa hasta 50° de divergencia según distintas fórmulas

Grados	Tangente de alfa	Disminución en pantalla cuadrada según grados	Disminución en pantalla cuadrada de la luz ambiente	Disminución en pantalla circular según grados	Disminución en pantalla circular de la luz ambiente
		$W_r = \frac{W_i}{d(T\alpha)^2}$	$W_r = \frac{W_i}{d^2}$	$W_r = \frac{W_i}{d(T\alpha)^2\pi}$	$W_r = \frac{W_i}{d^2\pi}$
1	0,017455	194,2094	0,0592	61,8188	0,0188
2	0,034921	48,5228	0,0592	15,4453	0,0188
3	0,052408	21,5438	0,0592	6,8576	0,0188
4	0,069927	12,1011	0,0592	3,8519	0,0188
5	0,087489	7,7305	0,0592	2,4607	0,0188
6	0,105104	5,3564	0,0592	1,7050	0,0188
fi 7	0,122785	3,9249	0,0592	1,2493	0,0188
8	0,140541	2,9958	0,0592	0,9536	0,0188
9	0,158384	2,3588	0,0592	0,7508	0,0188
10	0,176327	1,9032	0,0592	0,6058	0,0188
11	0,194380	1,5661	0,0592	0,4985	0,0188
12	0,212557	1,3097	0,0592	0,4169	0,0188
13	0,230868	1,1102	0,0592	0,3534	0,0188
14	0,249328	0,9519	0,0592	0,3030	0,0188
15	0,267949	0,8242	0,0592	0,2623	0,0188
16	0,286745	0,7196	0,0592	0,2291	0,0188
17	0,305731	0,6330	0,0592	0,2015	0,0188
18	0,324920	0,5605	0,0592	0,1784	0,0188
19	0,344328	0,4991	0,0592	0,1589	0,0188
20	0,363970	0,4467	0,0592	0,1422	0,0188
21	0,383864	0,4016	0,0592	0,1278	0,0188
22	0,404026	0,3625	0,0592	0,1154	0,0188
23	0,424475	0,3284	0,0592	0,1045	0,0188
24	0,445229	0,2985	0,0592	0,0950	0,0188
25	0,466308	0,2721	0,0592	0,0866	0,0188
26	0,487733	0,2487	0,0592	0,0792	0,0188
27	0,509525	0,2279	0,0592	0,0725	0,0188
28	0,531709	0,2093	0,0592	0,0666	0,0188

[Continúa]

Tabla 17-1. Tabla de disminución luminosa hasta 50° de divergencia según distintas fórmulas (Cont.)

Grados	Tangente de alfa	Disminución en pantalla cuadrada según grados	Disminución en pantalla cuadrada de la luz ambiente	Disminución en pantalla circular según grados	Disminución en pantalla circular de la luz ambiente
29	0,554309	0,1926	0,0592	0,0613	0,0188
30	0,577350	0,1775	0,0592	0,0565	0,0188
31	0,600861	0,1639	0,0592	0,0522	0,0188
32	0,624869	0,1515	0,0592	0,0482	0,0188
33	0,649408	0,1403	0,0592	0,0447	0,0188
34	0,674509	0,1301	0,0592	0,0414	0,0188
35	0,700208	0,1207	0,0592	0,0384	0,0188
36	0,726543	0,1121	0,0592	0,0357	0,0188
37	0,753554	0,1042	0,0592	0,0332	0,0188
38	0,781286	0,0969	0,0592	0,0309	0,0188
39	0,809784	0,0902	0,0592	0,0287	0,0188
40	0,839100	0,0840	0,0592	0,0268	0,0188
41	0,869287	0,0783	0,0592	0,0249	0,0188
42	0,900404	0,0730	0,0592	0,0232	0,0188
43	0,932515	0,0680	0,0592	0,0217	0,0188
44	0,965689	0,0635	0,0592	0,0202	0,0188
45	1,000000	0,0592	0,0592	0,0188	0,0188
46	1,035530	0,0552	0,0592	0,0176	0,0188
47	1,072369	0,0515	0,0592	0,0164	0,0188
48	1,110613	0,0480	0,0592	0,0153	0,0188
49	1,150368	0,0447	0,0592	0,0142	0,0188
50	1,191754	0,0417	0,0592	0,0133	0,0188

que si el foco se encuentra a bastante distancia, la diferencia entre vectores será despreciable. Sin embargo, si el foco y la superficie están cercanos, este efecto se acentuará de forma considerable. No se debe olvidar esta circunstancia cuando se apliquen lámparas de infrarrojos o láseres de campos cónicos (v. cap. 16).

Si se han leído con atención los dos últimos apartados, puede parecerle al lector que se ha

caído en contradicción al realizar cálculos con la tangente para superficies planas cuando, en realidad, la proyección de los haces luminosos se realiza sobre casquetes esféricos, en los cuales desaparece el fenómeno referido en este apartado sobre la concavidad y, en lugar de emplear la tangente, tendría que hacerse con radianes. Sin embargo, dado que se va a trabajar sobre superficies planas, donde las diver-

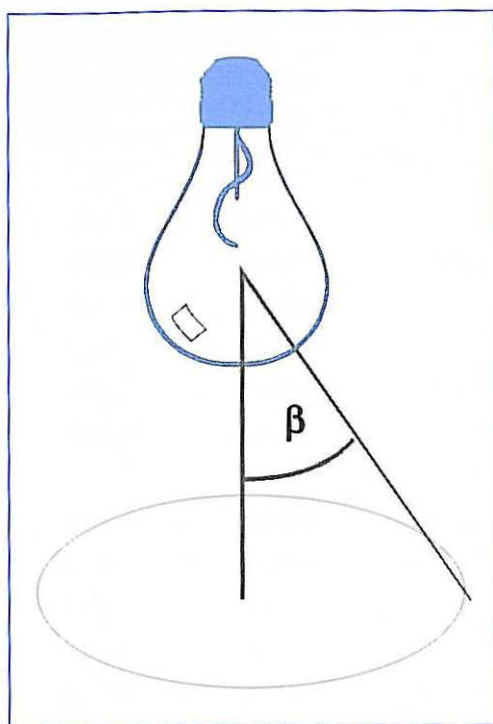


Figura 17-15. Ley de la concauidad.

gencias son mínimas, con errores despreciables y fórmulas mucho más sencillas, se mantiene lo expuesto.

Leyes de la absorción

La luz que llega a una superficie no se absorbe toda, sino que depende de características propias de la materia que compone la superficie receptora y del objeto para que se absorban distintos porcentajes de la intensidad aplicada. A continuación se aplica un fenómeno muy importante, gracias al cual se comprenderán algunos efectos fisiológicos conseguidos en nuestro organismo cuando se aplican tratamientos con luz, sean de tipo láser o sean con luz normal.

La materia está compuesta por átomos y moléculas formadas por éstos. Las moléculas y los átomos se mantienen unidos entre sí según dos fuerzas opuestas: cohesión y repulsión.

Cuando se establece un equilibrio entre ambas fuerzas, se crea una distancia interatómica o intermolecular y queda un vacío, por el cual puede avanzar un rayo de luz (si su longitud de onda es igual o menor que las dimensiones del hueco) hasta que (por ley de probabilidades) se encuentre en su camino con algún átomo o molécula que lo desvíe o que lo absorba para transformar esta energía en otra, la cual agitará el átomo o la molécula y generará movimiento o mayor agitación molecular, tal vez al romper un enlace químico o provocar la síntesis de un nuevo enlace, etcétera.

Estos fenómenos y la capacidad de penetrar dentro de la materia están determinados por el tamaño de los espacios intermoleculares, por el tamaño molecular y por las longitudes de onda de los rayos luminosos que la invaden. Dado que el rayo avanza en un frente ondulatorio, cuanto menor sea la superficie de dicho frente, mayores serán las posibilidades de introducirse en la materia sin chocar con los átomos o moléculas (Fig. 17-16).

El posible efecto de alteración de la materia (detalle de la lupa) se genera con longitudes de

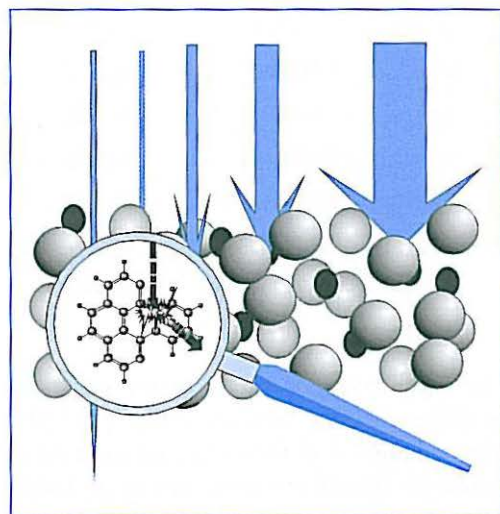


Figura 17-16. Cuanto mayor sea la longitud de onda del rayo (anchura del rayo), menor será la posibilidad de penetrar. Si la anchura del rayo es muy pequeña, éste puede penetrar hasta el interior atómico.

onda muy cortas (en los ultravioletas de tipo C o inicio de las radiaciones ionizantes). Los infrarrojos poseen mayor longitud de onda y les costará más penetrar en la materia.

Los gases presentan grandes espacios intermoleculares; los líquidos tienen menores espacios intermoleculares y los sólidos, en general, son más opacos o tienen mayor densidad de materia, con lo que no permiten el paso a través de ellos (salvo en longitudes de ondas muy cortas o si su arquitectura molecular posee un alto grado de organización prismática a modo de cristales).

Un ejemplo demostrativo de estos fenómenos se encuentra al sumergirse en las aguas submarinas, donde al principio del descenso se pierden los colores rojos, después los colores naranja (por tener éstos las longitudes de onda más amplias del espectro luminoso) y, asimismo, son los primeros en absorberse por choques con la materia (el agua). Se van perdiendo colores hasta terminar observando todo de color violáceo debido a su pequeña longitud de onda para pasar enseguida a la oscuridad, ya que no puede observarse la banda de ultravioletas.

Además, se ponen de manifiesto otras propiedades muy interesantes a la hora de tratar del láser para entender mejor sus posibles efectos:

- La materia, mejor, su composición, presenta determinadas aptitudes o facilidades para absorber ciertas longitudes de onda.
- Cada composición presenta bandas específicas de no absorción o reflejadas (la indicadora del color del objeto).
- Ciertos enlaces químicos utilizan la energía de la luz para disociarse.
- Otros enlaces necesitan la energía aportada por la luz para sintetizarse.
- Algunas proteínas, al ser bombardeadas con energía en la banda visible y no visible, sufren cambios en su forma.
- Cada elemento químico (simple o compuesto) posee un espectro propio de irra-

diación, que suele estar comprendido entre la banda de microondas y la de infrarrojos, sobre todo, aunque también determinados elementos irradian en distintos colores de luz visible y ultravioletas.

- Esta irradiación de energía (predominante en la banda de infrarrojos) parece que tiene influencias en otros elementos cercanos.
- Cuanto mayor es la frecuencia, menor es la longitud de onda y mayor es la capacidad energética (determinada por la constante de Planck).
- Si la longitud de onda es muy pequeña, los rayos profundizarán mucho e, incluso, atravesarán el objeto, que volverá a emerger por el lado opuesto y cederá un pequeño porcentaje de la energía recibida. Los rayos X atraviesan con facilidad el cuerpo humano.

Ley de la energía recibida por tiempo de aplicación

Si se necesita aplicar determinada cantidad de energía lumínica a una superficie concreta, deberán tenerse en cuenta dos parámetros fundamentales: la potencia de la luz que incide y el tiempo de aplicación.

De esta forma, si se desean aplicar 20 J, podrá hacerse de varias formas: aplicando mucho tiempo y poca potencia o aplicando poco tiempo y mucha potencia, por ejemplo: $20 \text{ J} = 4 \text{ W} \cdot 5 \text{ s}$; $20 \text{ J} = 20 \text{ W} \cdot 1 \text{ s}$; $20 \text{ J} = 1 \text{ W} \cdot 20 \text{ s}$; $20 \text{ J} = 0,01 \text{ W} \cdot 2.000 \text{ s}$, o $20 \text{ J} = 100 \text{ W} \cdot 0,2 \text{ s}$.

Matemáticamente es cierto, pero se sabe que, si está sometido a luz débil (sea láser o no), el organismo la absorbe perfectamente sin problemas. En cambio, si se está expuesto a luz potente en exceso, aunque se esté poco tiempo, las células no la soportan y son dañadas. *Es fundamental el concepto de velocidad en la aplicación o potencia.*

Los fisioterapeutas están obligados a trabajar con ciertos márgenes de potencia, según el comportamiento orgánico, para que cumplan los efectos buscados, si se tiene en cuenta que

potencias luminosas bajas no son prácticas y potencias altas pueden dañar a los tejidos orgánicos incluso en poco tiempo. El láser quirúrgico se basa en depositar mucha potencia sobre un pequeño punto en un breve instante, por ejemplo, 300 J. En fisioterapia, es recomendable utilizar de 1 a 10 W para barridos, nunca en modo puntual.

Esta ley debe ser matizada cuando se haga referencia al láser y sus efectos fisiológicos, ya que se ha comprobado que resulta más eficaz si se aplican potencias entre 5 y 10 W que cuando se aplican las bajas, aunque los julios recibidos matemáticamente sean los mismos.

Difracción y luminiscencia



La difracción es un fenómeno por el cual, cuando el haz de rayos es mayor que el espacio por el que se introduce, se deforma la onda y se difracta, es decir, parte de ella cambia de dirección como si le costara despegarse del borde del objeto que impide su paso.

Este fenómeno produce una divergencia del haz que provoca interferencia con otros haces difractados e interferencias entre ellos con nuevas frecuencias y longitudes de onda. En resumen, surgen nuevos colores (Fig. 17-17).

Esta generación de nuevos colores es una de las causas por las cuales determinadas sustancias reflejan colores no contenidos en la luz

que los ilumina, caso muy característico de la iluminación con luz ultravioleta (no visible).

En la vida cotidiana es cada vez más frecuente observar luminiscencias de nuestras ropas de vestir en las salas de fiesta, la llamada tinta invisible (sólo visible bajo rayos ultravioletas), etc. Estas sustancias, al ser iluminadas con la denominada «luz negra», sufren interferencias que producen nuevas longitudes de onda en la banda visible.

No todos los casos de luminiscencia se deben a este fenómeno, otros proceden de emisión espontánea de radiaciones en la banda de luz visible, irradiadas por las moléculas o átomos que forman la sustancia luminiscente a temperatura ambiente sin que dichas moléculas se sometan a agitación atómica por aplicación de calor y otras energías. El fósforo es uno de los elementos que poseen esta característica.

Todos los elementos muestran su espectro de emisión característico bien en la banda de microondas, infrarrojos, luz visible, ultravioletas y otras de menor longitud de onda, como los elementos radiactivos.

Comparación con el láser

Las propiedades hasta ahora expuestas se refieren a la luz en general, pero la luz producida por el sistema de láser altera algunas de ellas, elimina otras y la mayoría se mantiene.

El láser, como tal, se caracteriza por unas propiedades inherentes a él, sin las cuales dejaría de ser láser. Son las siguientes:

- coherencia,
- monocromatismo,
- no divergencia y
- alta potencia.

Coherencia

Con anterioridad se ha mencionado que la luz está compuesta, en general, por varios colores o varias frecuencias, mientras que la

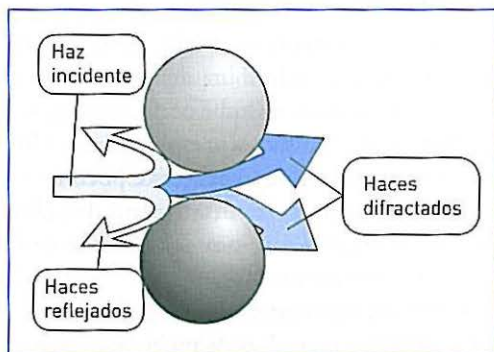


Figura 17-17. Efecto de reflexión y difracción al pasar por una abertura.

luz láser sólo está formada por un color o una única frecuencia.

Si en la luz normal se mezclan varias frecuencias, interferirán unas ondas con otras, lo que generará nuevas frecuencias de batido. Por ello perderán potencia las existentes, ya que en la mayoría de los casos se van a interferir y anular de forma mutua (Fig. 17-5).

En láser, la frecuencia es única, por lo que en principio no se presentan nuevas frecuencias de batido ni interferencias entre varias frecuencias. Sin embargo, la característica llamativa de la coherencia consiste en que en todos los rayos que componen el haz, cuando presentan su ondulación, coinciden todas las crestas en superposición (Fig. 17-6).

Además, se produce un efecto de paralelismo mantenido aunque la distancia entre el foco y el objeto sea considerable. Así pues, la coherencia contribuye a mantener (a pesar de la distancia) la potencia lumínica del haz por no interferirse unos rayos con otros.

Monocromatismo

El monocromatismo y la coherencia tienen todo en común: la coherencia resalta la coordinación de las ondas entre sí mientras que el monocromatismo destaca un único tipo de onda (en su longitud de onda), pero necesariamente una condición conduce a la otra.

Esto significa que, aunque se haga traspasar un prisma con un haz láser, no se descompondrá en varias longitudes de onda o en otros colores, ya que el haz sólo está formado por una única longitud de onda o color (en teoría, «purísimo»).

No divergencia

En principio, la no divergencia depende del sistema generador, pues algunos producen un haz plano de 360° que se debe colimar mediante lentes en tanto que otros ya emergen con paralelismo de la cavidad resonadora.

Se afirmaba que los haces de luz normal divergen a lo largo de su recorrido. Con el procedimiento de láser se altera esta propiedad debido a la forma de generar los rayos y su monocromatismo. Los rayos procedentes de los gases ionizados se producen en todas las direcciones y, para evitar que ocurra así, se colocan dos espejos paralelos uno frente a otro y se deja entre ambos la sustancia ionizada (gas) que genera las emisiones.

Al confrontar los espejos, los fotones se reflejan infinitas veces y otras tantas veces estimularán a otros átomos que encuentren en su recorrido, lo que produce una reacción en cadena provocada por todos los fotones que circulan en ambos sentidos (de espejo a espejo); por ello, este conjunto recibe el nombre de cavidad resonadora.

Uno de los espejos presenta en su centro un punto semitransparente de manera que los rayos que coincidan en dicho lugar salgan al exterior de la cavidad resonadora en el porcentaje correspondiente al nivel de transparencia del espejo. Los rayos de este haz emergente mantendrán el paralelismo conseguido en la cavidad resonadora. El grado de divergencia o de colimación del haz depende, sobre todo, de la calidad en la construcción del resonador.

En el sistema de láser de rubí y de diodo, la divergencia es importante, de manera que si se pretende evitarla será a base de sistemas ópticos o, simplemente, al tenerla en cuenta como parámetro propio del haz a la hora de aplicarlo.

Alta potencia

Existen varias razones por las cuales la luz láser se caracteriza por alta potencia luminosa a pesar de la distancia recorrida por el haz. Sin embargo, por muchas y repetidas que se aporten, se resumen en un dispositivo tecnológico, que pueda generar un haz de rayos potente, fino, paralelo y monocromático.

¿Cuál sería un ejemplo de este fenómeno?: un grupo de arqueros disparando cada cual su

flecha y procurando que todas las flechas incidan en el mismo punto y en el mismo instante. Es la concentración de mucha energía en un pequeño punto.

Son razones suficientes para comprender que la potencia del láser sea mucho mayor que la de un haz de luz normal (aunque se haya colimado).

TIPOS DE LÁSER

Pueden establecerse varios tipos de clasificaciones atendiendo a distintas pautas:

- Por la consecución y su elemento productor.
- Por la banda del espectro electromagnético en que se emite.
- Por niveles de potencia.
- Por su clasificación legal.
- Por el sistema de aplicación.
- Por su tipo y efectos biológicos.

Se tratará de esquematizar y concatenar, en lo posible, todos estos parámetros.

Método de producción

En cuanto a la forma de conseguir la luz láser (utilizada en fisioterapia) y el elemento del cual se obtiene, pueden establecerse dos grandes clasificaciones:

- Láser de gases elaborado mediante descargas eléctricas sobre determinados gases (Fig. 17-18).

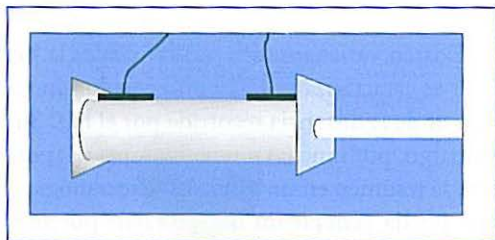


Figura 17-18. Tubo o cavidad resonante para láser de gas con dos espejos paralelos y sus electrodos de excitación.

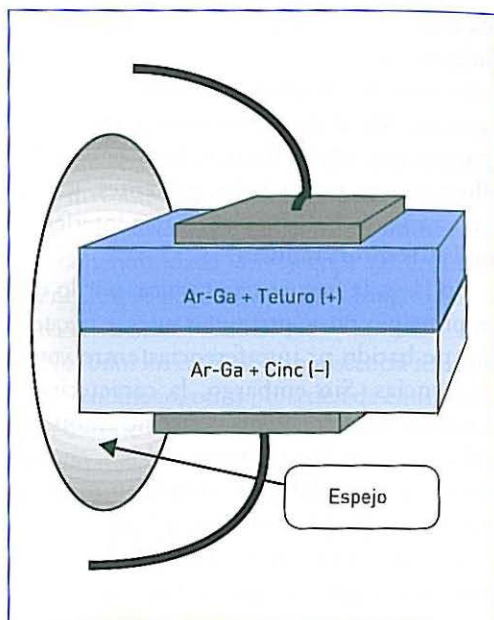


Figura 17-19. Diodo semiconductor que genera destellos luminosos entre las caras de contacto, de ambos minerales. Ar-Ga: arseniuro de galio.

- Láser de diodo obtenido por el paso de corriente a través de un semiconductor (Figs. 17-19 y 17-20).

El láser de rubí se descarta en esta obra aunque se empleó en los inicios del uso terapéutico del láser.

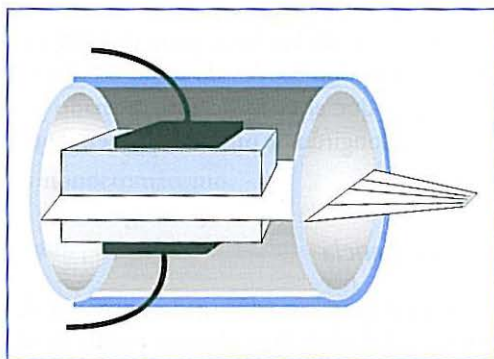


Figura 17-20. Esquema básico de una cápsula para láser de diodo con su espejo posterior y su lente de colimación.

Se tomará un ejemplo característico de cada método a partir del hecho que, salvo alteraciones de tipo técnico, lo explicado a continuación es norma general para cada grupo.

Láser de gases

Se consiguen a partir de los siguientes elementos (Fig. 17-18):

- Un tubo cilíndrico, hermético y alargado que contenga el gas o la mezcla de los gases.
- El tubo en sus extremos posee sendos espejos paralelos entre sí con el fin de conseguir reflexiones infinitas de los rayos.
- Uno de los espejos presenta en su centro una pequeña zona del 5 al 20 % de semitransparencia.
- El tubo soporta dos electrodos destinados a aplicar descargas eléctricas sobre los gases para ionizarlos o estimularlos.
- Generador y amplificador de impulsos eléctricos de alto voltaje destinados a excitar o ionizar el gas.

El generador de impulsos eléctricos aplica descargas de alto voltaje a la mezcla de gases mediante los electrodos destinados a este fin para ionizarlos o desequilibrarlos de forma electrónica, es decir, logra que los electrones salten de su órbita de conducción a la órbita de valencia, más distante del núcleo, y absorban energía para volver de inmediato a su órbita original y liberar energía en forma de radiación fotónica sin interrupciones en una longitud de onda determinada (Fig. 17-4 A y B).

Los fotones que tomen el sentido paralelo a la longitud del tubo se reflejarán repetidas veces por los espejos y en repetidas ocasiones estimularán la emisión de otros fotones que seguirán al primero, paralelos entre sí, de forma que, en el sentido longitudinal al tubo, se consigue un efecto de amplificación luminosa muy por encima de la que se puede producir en el resto de las direcciones. Por el centro de

uno de los espejos saldrá un pequeño haz de rayos que mantendrán el paralelismo entre sí.

La forma en que surge el haz del tubo puede variar; tal vez, la más habitual sea la referida, pero en otras ocasiones se realiza por retirada momentánea de uno de los espejos, por lo que se producen impulsos láser de mucha mayor potencia, pero de emisión pulsada (no continua).

La forma del haz láser, el diámetro del haz, la superficie del haz, el grado de divergencia y el medio de transmisión al paciente son datos que aporta el fabricante y que deben tenerse muy en cuenta en el momento de materializar la aplicación.

Láser de diodo

Como su nombre indica, para obtener luz láser por este método, se opera con un pequeño componente electrónico denominado diodo. Un diodo no es otra cosa que dos minerales de distintas características eléctricas, los cuales, tras entrar en contacto, dejan pasar una corriente eléctrica en un solo sentido, pero no en el inverso.

En la unión o caras de contacto de ambos prismas de minerales semiconductores se produce transformación de energía u ondas electromagnéticas en la banda de infrarrojos, rojo u otros colores, además de calor como residuo no útil. La longitud de onda depende del tipo de minerales y de su dopaje. La potencia se consigue con mayor o menor intensidad de corriente eléctrica que circule entre ambos prismas.

En la vida cotidiana puede observarse este fenómeno en multitud de casos y circunstancias: los dígitos luminosos de una calculadora o cualquier otro aparato que presente información en forma de letras o números «luminosos», así como los mandos a distancia de los televisores y también los semáforos de *led* o puntos luminosos.

Por este sistema se consigue gran variedad de longitudes de onda o colores, pero en el

caso que se trata, si se utiliza el arseniuro de galio dopado con telurio y cinc, N y P, respectivamente (Fig. 17-19), se obtendrán las potencias y longitudes de onda que interesan para los tratamientos de fisioterapia en la gama de infrarrojos con longitudes de onda comprendidas entre 780 y 850 nm.

A cada uno de los pequeños prismas que componen el conjunto de diodo se le aplican sendos electrodos, por los cuales circulará corriente eléctrica lo bastante alta como para obtener potencias de láser importantes, corriente de 10 a 20 A, de manera que en las superficies que entran en contacto se emite un pulso de luz láser en el que predomina una única longitud de onda sobre el resto, pero, en realidad, se irradian varias longitudes de onda próximas entre sí. Entonces, no es tan perfecto como el sistema de gases.

Debido a las pequeñas dimensiones del diodo y a la alta intensidad de corriente se fundiría en espacio de tiempo muy corto. Para evitar este problema, se aplica la corriente durante pequeños instantes seguidos de amplios reposos con el fin de permitir la refrigeración del diodo. Esto aclara por qué el tipo de emisión no es continua, así como la necesidad de acogerlo en un eficaz sistema refrigerador para el diodo. Con todo, puesto que esta tecnología está evolucionando de forma rápida, ya pueden encontrarse diodos que emiten en modo continuo y con potencias considerables.

Los equipos de emisión de láser por diodo constan de un aparato donde se controlan las características del tipo de aplicación, el tiempo y la generación de los impulsos eléctricos que, conducidos por un cable, van a terminar en el cabezal de aplicación, el cual, a la vez, es el receptáculo del diodo generador de luz láser.

Así pues, el aplicador o cabezal consiste en una caja donde se encuentran el diodo, un espejo en contacto con el diodo y un sistema óptico destinado a reducir al máximo la divergencia de los rayos emitidos con el fin de aprovechar mejor el rendimiento luminoso (Fig. 17-20).

Llama la atención el tamaño y el peso del cabezal. Ello es debido al sistema refrigerador del diodo. También el cable que une el cabezal con el aparato generador de impulsos eléctricos es grueso y está bien protegido, por supuesto, para tratar de evitar posibles fugas eléctricas a causa de la alta intensidad circulante por el cable. Se debe prestar especial atención al cuidado del cable y prevenirse en caso de deterioros.



Vídeo 17-1. Láser de diodo 1

BANDA DE EMISIÓN Y NIVELES DE POTENCIA

En la [tabla 17-2](#) se representan y se resumen los tipos de láser usados en fisioterapia, tanto en la modalidad de gas como en la de diodo. Algunos del grupo de gas se emplean en ocio, industria e, incluso, cirugía y se contemplan a modo de curiosidad.

Es muy importante fijarse en las potencias que es capaz de generar cada sistema, pues el de He-Ne siempre quedará muy bajo respecto a los demás. El láser de CO₂ ofrece sistemas regulables de los cuales pueden conseguirse potencias muy altas, pero en fisioterapia no debe pasarse de los 10 W reales o eficaces. En los sistemas de diodo, se dispone de potencias medias muy bajas en general aunque se están construyendo diodos muy potentes o, también, se asocian o agrupan en placas para conseguir potencias sumativas de 2, 3, 4, 5 o 10 diodos, o, incluso, más. Se están fabricando diodos de incluso 10 W que trabajan en modo continuo y en modo pulsado.

CLASIFICACIÓN LEGAL

El láser requiere precauciones en su manejo, sobre todo, por la posible lesión ocular, lo que lleva a establecer una clasificación legal, por la cual se establecen las protecciones oculares oportunas. Así, en la [tabla 17-3](#) puede

Tabla 17-2. Los dos tipos de láser normalmente usados en fisioterapia

Tipo	Color	Longitud de onda (nm)	Potencia
Gases			
Helio-neón (He-Ne)	Rojo	632,8	De 0,5 a 50 mW
Argón iónico (no se utiliza en fisioterapia)	Verde	514,5	De 2 a 20 W
	Verde	501,7	
	Azul	496,5	
	Azul	488,0	
	Violeta	476,5	
	Violeta	472,7	
	Violeta	465,8	
CO ₂	Infrarrojos (no visible)	Desde 905-10,000	De 0,01 a 5,000 W
Diodo			
Arseniuro de galio (Ar-Ga)	Infrarrojos (no visible) y rojo	Desde 632 hasta cerca de 1.000	De 0,01 a 10 W (con racimos de diodos pueden alcanzarse potencias considerables)
Neodimio-YAG (Nd-YAG)	Infrarrojos (no visibles)	1.064	De 0,1 a 10 W (la potencia de pico puede alcanzar 1.000 W)

Tabla 17-3. Clasificación del láser por su nivel de potencia

Clase	Potencia máxima en continuo	Efectos sobre el ojo
1	Muy baja	No encierra peligros. No requieren advertencia
1M	Baja	Como la clase 1, pero no son seguros cuando se observan a través de lupas o binoculares
2	1 mW (visible)	Pulsos inferiores a 250 ms. Se corre el riesgo a la exposición directa
2M	>1 mW (visible)	Aumenta el riesgo si se observan a través de instrumental óptico
3A	5 mW	<25 W/m ² . Hay que evitar la exposición directa
3B	500 mW	Protección ocular ante la exposición directa
4	Más de 1 W	Protección ante el haz reflejado

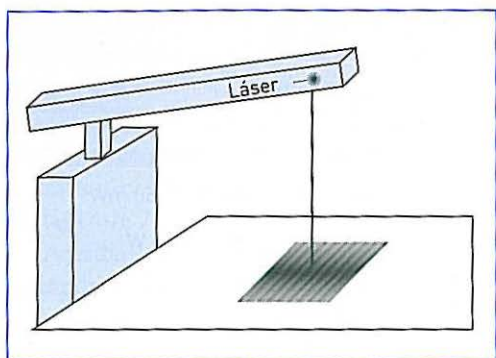


Figura 17-21. Esquema de un sistema láser de gas o de cañón con barridos del haz.

observarse esta clasificación, sus riesgos oculares y protección (v. «Contraindicaciones y precauciones», más adelante).

MODOS DE APLICACIÓN

Los sistemas de gases se denominan, por lo general, láser de cañón (Fig. 17-21) mientras que los de diodo, láser puntual (Fig. 17-22). Esto requiere ciertas aclaraciones, pues, aunque el láser de He-Ne emite desde un sistema en apariencia de cañón, aporta muy poca potencia. Además, ya se están aplicando sistemas constructivos de cañón para diodos o racimos de diodos que emiten en barridos o en campo cónico (a causa de su potencia muy alta), pues,



Figura 17-22. Aplicación de un láser con cabezal de diodo de forma puntual.

aplicados en modo puntual o con cabezal fijo, quemarían al paciente.

Aplicación con sistemas de cañón

Si se hace referencia específica al modo de aplicación o transmisión del haz en el láser de cañón, las formas fundamentales son tres:

- Directamente del tubo resonador a través de un orificio en el chasis.
- Directamente, pero reflejado y dirigido por espejos.
- Conducido por fibra óptica.

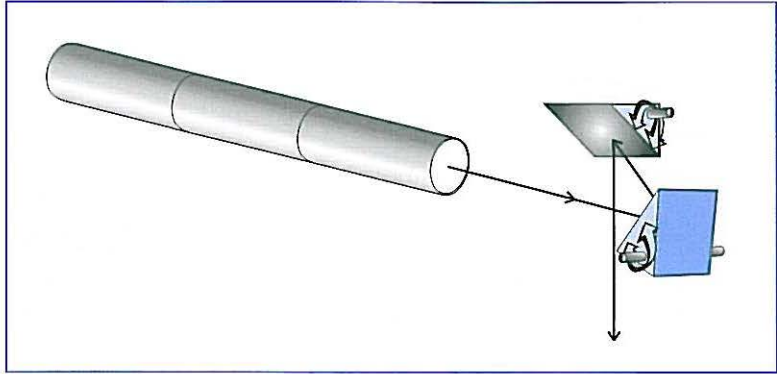
Directamente del tubo es la forma más eficaz y en ella se aprovecha mejor la potencia del haz, pero, a su vez, es muy poco práctica dado que requiere un complejo sistema de colocación del aparato o del paciente.

Directamente pero dirigido por espejos es la forma más habitual, ya que unos buenos espejos no hacen perder eficacia al rayo y con facilidad pueden dirigirse a donde se pretenda (Fig. 17-23). Por lo general, estos espejos están controlados por un sistema de motores que los hacen girar unos grados sobre distintos ejes de manera repetida y dibujan un barrido sobre una zona determinada decidida previamente. Este sistema recibe el nombre de barrido por escáner.

Conducido por fibra óptica será la mejor manera de llevar el haz de láser a determinadas zonas que, de otra forma, no son muy accesibles, como orificios, cavidades, zonas de la boca, oquedades, aplicación en puntos de acupuntura, en proximidad de los ojos, etc. Sin embargo, esta modalidad presenta inconvenientes por varias razones:

- Aparece divergencia del haz a la salida de la fibra con la consiguiente pérdida de una de sus propiedades: la no divergencia o colimación y, por ende, su potencia.
- Parte de la potencia del haz luminoso no alcanza el extremo opuesto de la fibra, pues

Figura 17-23. Sistema básico de barrido de un haz de láser con dos espejos motorizados.



aparecen pérdidas al reflejarse y refractarse cuando el haz aborda la fibra.

- La fibra óptica presenta pérdidas de luminosidad más o menos importantes en función de su calidad y longitud. Por esta razón, sólo se utilizan en casos en que no se puede aplicar de otra forma.

Aplicación con sistemas de diodo

Dado que los diodos se localizan en el extremo distal de los cabezales, su aplicación se realiza mientras se mantiene el cabezal en un punto, pero también se están instalando en elementos semejantes al cañón para irradiar desde cierta distancia, lo que crea un haz que barre una zona o un cono cuya base es la zona de aplicación. Se clasificarán en:

- Directamente del cabezal a través de una lente (Fig. 17-22).
- Haz colimado desde el cañón, pero reflejado y dirigido por espejos (Fig. 17-23).
- Haz divergente o en base cónica (Fig. 17-27).

MÉTODOS DE TRATAMIENTO

Los métodos usados para efectuar tratamientos de laserterapia, tanto en sistemas de cañón como en aquéllos de diodo, sobre todo, son cuatro:

- Puntual en un punto o puntos determinados de forma previa.
- Barrido de puntos.
- Barrido total de toda una zona.
- Cono divergente.

Aplicación puntual

La aplicación puntual en un punto o varios puntos determinados de forma previa obedece a razones técnicas, como un cabezal con varios diodos o selección en un punto muy concreto en el paciente cuando se aplica sobre puntos de acupuntura o por razones que dependan del tratamiento.

Suelen practicarse con fibra óptica, con el escáner detenido en un punto fijo (Fig. 17-24 A) o con el cabezal del láser de diodo. Lógicamente, esta modalidad de puntos se aplica con poca potencia.

Aplicación puntual que considera la superficie del haz o que considera la zona de influencia

En las aplicaciones puntuales interviene un factor importante a la hora de dar un valor a la superficie que abarca el punto. Se trata de considerar únicamente la superficie exacta del haz como zona tratada, o considerar incluida una zona de influencia alrededor del haz (Figs. 17-24 B y 17-30).

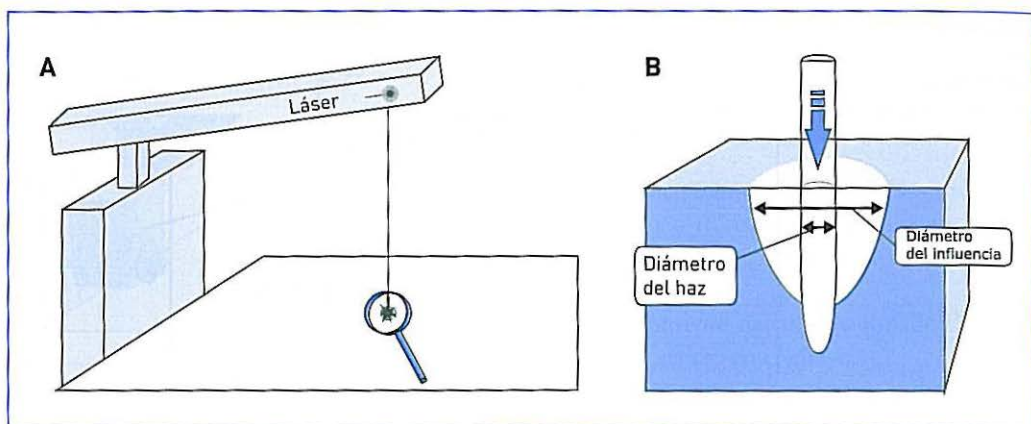


Figura 17-24. A) Esquema de un sistema láser de cañón en aplicación puntual mediante rayo reflejado por espejos. B) Esquema de la influencia luminosa del haz sobre los tejidos vivos, que considera la superficie del haz como zona tratada o la superficie de influencia como zona tratada.

Los cabezales que contienen varios diodos arracimados (también denominados cabezal ducha) están separados entre sí por una distancia tal que, si se considera la zona de influencia de cada punto, recoge toda la zona de influencia de los vecinos para conseguir un reparto luminoso homogéneo y un reparto medio de la densidad energética.

Algunos equipos solicitan que se indique cuál de las dos modalidades se usarán para los cálculos:

- La modalidad de superficie del haz cubre menor zona tratada y satura la zona de ataque directo bajo el haz.

- La modalidad de superficie de influencia, en la cual la zona tratada es mayor y la densidad energética está más repartida, deja sin saturar el área directa bajo el haz.

La modalidad más frecuente, cuando se aplica un entramado de puntos, es la que considera la zona de influencia del haz. Cuando se aplica sólo un punto (o varios sin relación de proximidad entre ellos), puede usarse la modalidad de superficie del haz.

Barridos de puntos

Los barridos de puntos se aplican desde los sistemas de cañón con espejos y se practican,

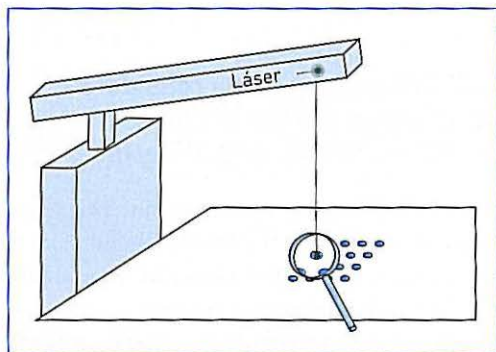


Figura 17-25. Barrido de puntos en un sistema de láser de cañón reflejado por espejos.

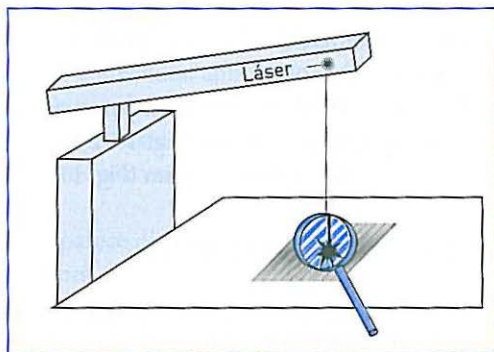


Figura 17-26. Barrido de línea que cubre una zona ajustada o un campo de tratamiento.

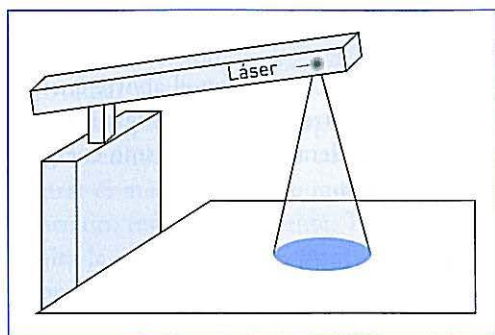


Figura 17-27. Esquema de un sistema láser en modo de cono divergente.

en ocasiones, donde un barrido completo prolongaría de forma excesiva la sesión (es el caso del láser de He-Ne). Pueden escogerse áreas cubiertas por una red de puntos (2×3 , 4×4 , 4×6 , 6×6 , etc.; Fig. 17-25). Esta modalidad se realiza con el escáner en un punto tras otro o con el escáner programado para que lo haga en los distintos puntos que se le han marcado en la programación. Con el láser de diodo, con frecuencia, se aplican varios puntos en una zona, pero no de forma cuadriculada. Lógicamente, esta modalidad de puntos se aplica con poca potencia.

Barridos de línea

Los barridos de toda una zona (sin dejar espacios sin energía), en general, representarán la mayoría de las sesiones de láser siempre que el equipo lo permita, pues esta modalidad se consigue con los sistemas de cañón que controlan espejos para que éstos dibujen de forma repetida un «vaivén» del haz colimado sin que reste alguna zona por recibir su dosis correspondiente dentro de la superficie ajustada (Fig. 17-26).

El correspondiente montaje mecánico de espejos que giran algunos grados en distintos planos, unos respecto a otros, y controlados por una programación previa logrará que el rayo oscile por la zona a velocidades bastante altas has-

ta llegar a provocar la ilusión de luminosidad permanente en toda la superficie elegida.

Cono divergente

Otra forma de cubrir determinada superficie corporal es mediante la radiación en forma de cono divergente con sistemas de cañón, que contiene diodos en lugar de tubos con gas. Estos diodos deben poseer potencias eficaces considerables tanto que, si se aplican de forma directa, colimados en un punto, quemarían al paciente (Fig. 17-27).

CARACTERÍSTICAS DEL LÁSER

Como se está describiendo, se aplican tres o cuatro tipos:

- De helio-neón (He-Ne).
- De dióxido de carbono (CO_2).
- De arseniuro de galio (Ar-Ga).
- De neodimio-YAG (Nd-YAG).

Láser de helio-neón

El láser de He-Ne procede de la mezcla de ambos gases (helio y neón). Así pues, el sistema de producción utiliza la metodología de cañón con tubo de gas. Emerge en forma de haz paralelo, colimado y muy fino, sin pérdida de potencia con la distancia. Se emite en la banda del rojo con longitud de onda aproximada de 633 nm (632,8). Ya los hay de diodo con la misma longitud de onda. Son de emisión continua, y la potencia emitida es la eficaz (puede efectuarse en modo pulsado). Sus potencias son muy bajas (la habitual es de 15, 17 o 20 mW y alcanza, como mucho, 50 mW) y requiere sesiones muy prolongadas de no ser que se aplique en puntos aislados o mediante barridos de puntos.

Sus efectos se apoyan en transformaciones bioquímicas y síntesis de aminoácidos y cadenas proteínicas, en las cuales se requiere el

aporte de luz visible (el rojo en este caso y no las típicas de ultravioletas).

Láser de dióxido de carbono o CO₂

El láser de CO₂ procede de la mezcla de ambos gases, por lo que el sistema de producción utiliza la metodología de cañón con tubo de gas. Emerge en forma de haz paralelo, colimado y muy fino, sin pérdida de potencia con la distancia. Se emite en la banda de infrarrojos con longitud de onda comprendida entre 905 y 1.006 nm. Para su control visible se le superpone otro haz de He-Ne. Es de emisión continua y la potencia emitida es la eficaz (puede emitirse en modo pulsado). Sus potencias son regulables y elevadas, lo que origina sesiones cortas y con grandes posibilidades de manejo. Para fisioterapia son buenas las potencias de 0,1 a 10 W. Siempre deben aplicarse en barridos de toda una superficie, pues en un punto quemaría.

Sus efectos se apoyan en el aporte energético que la electroquímica del organismo requiere para acelerar su metabolismo energético y de síntesis.



Vídeo 17-2. Láser de CO₂ 1

Láser de arseniuro de galio o Ar-Ga

El láser de Ar-Ga procede del paso de energía eléctrica a través de un diodo. Se emite en la banda de los rayos infrarrojos con longitud de onda comprendida entre 780 y 905 nm (aunque se utiliza y se fabrica una gran variedad). Es de emisión pulsada y la potencia eficaz debe calcularse (no puede efectuarse en modo continuo, salvo algunos modelos de diodo). Sus potencias son regulables desde 0,1 hasta 100 mW aunque pueden conseguirse algunos vatios (W) con los últimos modelos o con varios diodos agrupados. Se aplican mediante cabezal, punto a punto (con poca potencia) o por cañón con barrido divergen-

te (en aquellos que superan 1 W de potencia eficaz).

Sus efectos se apoyan en el aporte energético que la electroquímica del organismo requiere para acelerar su metabolismo energético y de síntesis.

Láser de neodimio-YAG

Es un láser de diodo, pulsado, de alta potencia de pico (podría alcanzar 1.000 W), pero se queda en una potencia eficaz de unos 50 mW. La frecuencia de pulsos no supera los 100 Hz y los pulsos son de nanosegundos. La longitud de onda alcanza 1.064 nm.

Se aplica con cabezal (como diodo que es), pero con un dispositivo que aleja el cabezal de la piel a una distancia prefijada para reducir la potencia mediante la divergencia del haz.

Si no se usa con la debida precaución, pueden causarse quemaduras con cierta facilidad.

PARÁMETROS DE LA TERAPIA LÁSER

Cuando se está frente a un equipo de radiación láser y un paciente, hay que plantearse los objetivos pretendidos y cómo conseguirlos. Para este fin se considerará una serie de parámetros y circunstancias, como:

- Dosis que se desea aplicar.
- Datos aportados por el fabricante.
- Concepto de potencia.
- Cálculo de la dosis deseada (formulación).
- Cálculo de la potencia media en modo pulsátil.
- Concepto de energía.
- Tipo de láser que debe utilizarse para cada proceso patológico.

Dosis o densidad de energía

Es fundamental que cualquier técnico, en estas terapias, tenga claro el concepto de dosis

o densidad de energía recibida por el paciente al concluir la sesión.

Irradiar el organismo vivo con luz no es otra cosa que aportar energía y esa energía debe medirse y calibrarse con el fin de no saturar el medio vivo o de modo que, por el contrario, resulte insuficiente. Tanto si se deposita la energía láser en puntos como si se deposita en barridos más o menos extensos, lo importante es que cada grupo celular reciba la energía pretendida aunque cambien el barrido, la potencia, la energía deseada, etcétera.

Si se compara con un ejemplo de la vida cotidiana, puede trasladarse a un día de lluvia con un fuerte chaparrón, donde pueden producirse avenidas a pesar de que la medición en litros por metro cuadrado haya resultado más baja de lo que en principio parecía.

Además, hay días de lluvia suave y constante en que no surgen problemas de inundaciones. Sin embargo, los litros recogidos por metro cuadrado han sido bastante más de lo esperado.

Puede apreciarse que lo importante es la densidad de lluvia, la lluvia en litros por metro cuadrado, que en nuestro láser será la energía depositada por cada centímetro cuadrado de la piel. El chaparrón fuerte representa una potencia elevada y la llovizna, una potencia baja. Sin embargo, la baja potencia consiguió mejores resultados que la elevada si se intuye que la clave se encuentra en el tiempo.

De los tres focos de la figura 17-28, cada uno aporta distintas potencias, pero todos pueden depositar la misma energía siempre que se les mantenga el tiempo adecuado.

Así pues, si se aplica una potencia durante un tiempo determinado, se realiza un trabajo ($W \cdot t = J$). Si dicho trabajo se reparte entre los centímetros cuadrados de la superficie, se realiza un trabajo por cada centímetro cuadrado (J/cm^2).

Si la energía aplicada es excesiva, agredirá a la materia viva (láser quirúrgico). En cambio, si la energía es insuficiente, no se conseguirán

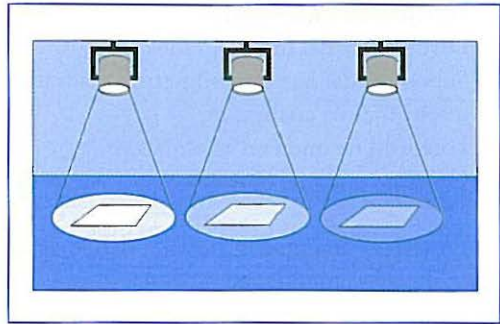


Figura 17-28. Esquema de tres focos de diferentes potencias. Si se desea que todos generen el mismo trabajo, cada uno requerirá un tiempo específico.

los efectos deseados. Según las diversas experiencias, trabajos, permisividad de distintos países y escuelas para el desarrollo del láser, las cantidades de energía recibidas en cada centímetro cuadrado de tejido vivo oscilan entre 2 y 40 (J/cm^2) aunque en distintos tejidos y con diferentes efectos terapéuticos (v. cap. 16).

Queda claro, pues, que el valor numérico de la dosis para aplicar procede del intelecto del terapeuta y no del equipo de laserterapia, de manera que todos los demás parámetros se tendrán que adecuar, ajustar y modificar para conseguir la dosis deseada.

Puede considerarse que las dosis recomendables para tratamientos con láser quedan establecidas entre 2 y 40 J/cm^2 , valores muy discutibles y en constante modificación (v. «Diferencias entre infrarrojos estándares e infrarrojos láser», en el cap. 16). Para calcular la dosis que se desea aplicar, se tendrán en cuenta los datos aportados por el fabricante del aparato.

Datos técnicos aportados por el fabricante

Frente a un equipo de laserterapia, se necesita conocer sus características para conseguir una adecuada dosificación. Los datos mínimos en láseres de emisión continua serían:

- Potencia en vatios (W).
- Divergencia del haz en grados.
- Superficie del haz en milímetros cuadrados o centímetros cuadrados.
- Longitud de onda en nanómetros.
- Color o banda de emisión.

En láseres de emisión pulsada deben agregarse los siguientes datos:

- Potencia de pico en W_p .
- Potencia eficaz en W_{ef} o mW_{ef} .
- Frecuencia de pulsos en hercios.
- Tiempo de duración del pulso en nanosegundos o microsegundos.
- Divergencia del haz en grados.
- Diámetro del haz.
- Longitud de onda.
- Banda de emisión.

Potencia

El fabricante aporta este dato, que ofrece información sobre la eficacia o la celeridad con que se inyecta una energía por el haz de rayos, es decir, la rapidez en depositar un valor X de energía en la unidad de tiempo.

Cuando con anterioridad se describía la ley de la energía recibida/tiempo de aplicación, se afirmaba que era lo mismo aplicar mucha energía luminosa durante poco tiempo que poca energía luminosa durante mucho tiempo. Eso es en teoría porque en la realidad, a la hora de aplicar láser, cuanto mayor sea la potencia mayor será el poder de penetración con la misma longitud de onda, pero a distintas longitudes de onda con la misma potencia, penetrará más la de menor longitud de onda. Asimismo, con potencias bajas, la energía se absorbe y se elimina antes de acumularse, en tanto que con potencias altas la energía se acumula para desencadenar respuestas biológicas. De hecho, la experiencia cotidiana demuestra que las aplicaciones con aparatos potentes

son más eficaces que con aparatos de baja potencia. El láser quirúrgico se diferencia del terapéutico o energético porque el primero posee mucha más potencia que el segundo.

Los fabricantes mantienen un constante reto por conseguir equipos con mayores potencias que las alcanzadas con anterioridad para reducir los tiempos de las sesiones y obtener mayor eficacia en los tratamientos. Puede afirmarse que la potencia es el parámetro que se capta por los termorreceptores del paciente. Entonces, cuando un paciente manifieste molestias durante la sesión, la potencia es el parámetro que debe reducirse.

¿Qué es mucha potencia, potencia media o poca potencia cuando se trata del láser? Pues es un concepto un tanto relativo, porque se encontrarán sistemas con potencia tan baja que el paciente no captará nada a modo sensitivo, pero se dispondrá de otros que en un instante provocarán un dolor intenso en el paciente. Así pues:

- El láser de He-Ne nunca generará sensación térmica (tal vez, en alguna aplicación puntual).
- Los láseres de diodo ofrecen una amplia gama de potencias y unos serán insensibles y otros requieren cuidados por riesgo de quemadura.
- El láser de CO_2 produce un estímulo térmico que se extiende desde el mínimo hasta muy intenso o doloroso, porque permite ajustar la potencia desde valores mínimos hasta valores excesivos.

En definitiva, se considerará lo siguiente:

- Poca potencia genera estímulo térmico muy suave.
- Media potencia genera estímulo térmico moderado.
- Mucha potencia genera estímulo térmico intenso (pero sin dolor).

De esta guisa, los láseres que no son capaces de conseguir estos estímulos quizá sea mejor dejarlos en cuarentena.

Los sistemas de láser continuos ofrecen la potencia de forma directa, pero en los pulsados se calculará la potencia eficaz según se detalla en el siguiente apartado.

Formulación para calcular la dosis y la potencia eficaz

Aunque el texto peque de reiterativo, debe recordarse que el trabajo o, en este caso, la energía aplicada se mide en julios (J) y es el producto de la potencia en vatios (W) por el tiempo transcurrido en segundos (s):

$$J = W \cdot t \text{ de forma que: } 1 J = 1 W \cdot 1 s$$

Esta fórmula será la llave para todas las demás variantes con el fin de calcular cualquier parámetro que se necesite al aplicar una sesión de láser con la dosis pretendida.

Los fisioterapeutas y profesionales de la terapia láser suelen apoyarse en las recomendaciones del fabricante, enumeradas en tablas o tiempos recomendados para determinados tratamientos, efectos, etc. (muchas de ellas con graves errores por falta de conocimientos básicos sobre estos temas). A pesar de ello, hay casos en que distintos equipos recomiendan diferentes dosis para la misma patología. Frente a estas situaciones, cada profesional debe tener claro la dosis que su experiencia le dicte en cada proceso patológico frente a cualquier equipo con independencia de las recomendaciones. Esta libertad de tratamiento se la ofrecerá el adecuado conocimiento de cómo «conjuguar y operar» con los distintos parámetros para obtener los resultados deseados sin temor a cometer errores. Para ello, debe comenzarse paso a paso y con calma hasta fijar conceptos de aprendizaje práctico, aun a costa de la insistencia.

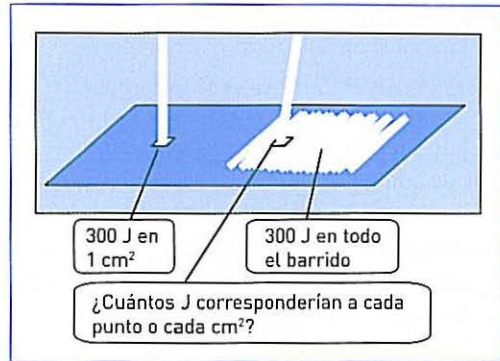


Figura 17-29. No es igual recibir 300 J en un punto de 1 cm² que recibir 300 J repartidos por toda la zona de un barrido. ¿Cuántos julios corresponden a cada centímetro cuadrado en el barrido?



Práctica 17-1

1. $14 J = 2 W \cdot X s$; $X = \dots\dots\dots$
2. $25 J = 0,5 W \cdot X s$; $X = \dots\dots\dots$
3. $100 J = 2.000 s \cdot X W$; $X = \dots\dots\dots$
4. $1.000 s = \dots\dots\dots? \cdot 3 W$

Hasta este punto, lo expuesto se refiere a la energía aplicada por el equipo en un tiempo determinado, pero ¿cómo debe repartirse por la zona que debe tratarse?, es decir, si se aplican 300 J en un punto, se dañará la superficie de ese punto y, si los mismos 300 J se aplican repartidos mediante un barrido sobre una espalda, tal vez el punto anterior reciba una cantidad escasa de energía (Fig. 17-29).

Esto implica tratar de resolver la forma por la cual cada punto recibe la cantidad que se pretende, es decir, la dosis (deben recordarse los «litros de lluvia por metro cuadrado»).

Así, lo fundamental que debe tenerse en cuenta es la cantidad de energía que recibirá cada unidad de superficie, con independencia del tamaño de la zona, de la potencia de emi-

sión del equipo, que sobrepase o no el barrido de la superficie corporal o de cualquier otro factor.

La cantidad de energía aportada a cada unidad de superficie (el centímetro cuadrado) estará decidida por nuestros propósitos de tratamiento (antes se describía que las dosis pueden establecerse entre 2 y 40 J/cm²). Frente a lo expuesto, se recurrirá a las adecuadas fórmulas matemáticas para calcularlo.

¿Cómo se hallaría la dosis que recibe cada centímetro cuadrado en una aplicación determinada?

Si se ha practicado una aplicación con un equipo de He-Ne de 7 mW, durante 2.500 s, en un barrido de 10 · 10 cm, ¿cuál será la dosis que recibe cada centímetro cuadrado?

- 7 mW = 0,007 W.
- Tiempo = 2.500 s.
- 10 · 10 = 100 cm².
- $J_t = W \cdot t$.
- $J_t = 0,007 \cdot 2.500 = 17,5 \text{ J totales}$:

$$\frac{17,5 \text{ J}}{100 \text{ cm}^2} = 0,175 \text{ J/cm}^2$$

¿Cómo serían dos procedimientos para calcular los julios totales emitidos durante una sesión?:

1. $J_t = W \cdot t$.
2. $J_t = (J/\text{cm}^2) \cdot (\text{superficie en cm}^2)$.

No debe olvidarse el segundo procedimiento, ya que se utilizará en su momento para sustituir a la expresión de julios totales.

En la ecuación se encuentran tres variables (W, J y t). La W está determinada por la potencia elegida desde el inicio de la sesión y se mantiene como valor inamovible. El J_t será un producto dependiente del tiempo y por la vía de cálculo propuesta no es útil como tal. El t en segundos será la única variable que pueda cambiar durante la sesión; así pues, se le con-

siderará como incógnita, y su correspondiente ecuación será:

$$t = \frac{J}{W}$$

Además, hay que incluir como variables la superficie del barrido (S en cm²) y la dosis (J en cada cm²). Para integrar ambas variables en la ecuación, se sustituirá el trabajo total realizado durante toda la sesión (J_t) por el producto de (S/cm²) · (J/cm²). La fórmula quedará como sigue:

$$t = \frac{(J/\text{cm}^2) \cdot (S/\text{cm}^2)}{W}$$

Para que esta fórmula sea la definitiva, sólo resta considerar la posibilidad de que la potencia se calcule de forma previa como potencia eficaz (W_{ef}) si el sistema aplicado es pulsado, mediante la fórmula:

$$W_{ef} = W_p \cdot t_{pul} \cdot F_{Hz}$$

A saber, potencia eficaz es igual a potencia de pico o de pulso por el tiempo de cada pulso (expresado en segundos) por la frecuencia de los pulsos en hercios. Por último, se presentará esta fórmula como la definitiva:

$$t = \frac{(J/\text{cm}^2) \cdot (S/\text{cm}^2)}{W_{ef}}$$

Se enunciará de la siguiente manera: el tiempo (en segundos) que dura una sesión es igual a la dosis por la superficie irradiada partido por la potencia eficaz (que, en aplicaciones de modo continuo, la potencia ofrecida coincide con la eficaz).

ALGUNOS CASOS

Primer caso

Se desea efectuar una aplicación de 4 J en un punto (sin considerar la superficie) con 50 mW. Falta el dato del tiempo. ¿Cómo se halla?

$$t = \frac{J}{W} = \frac{4}{0,050} = 80 \text{ s}$$

Segundo caso

Se pretende realizar una aplicación en una bursitis subdeltoidea de 90 J, repartidos entre seis puntos, distribuidos por la zona de la *bursa*, con láser de diodo a una potencia eficaz de 1 W (Fig. 17-30):

1. ¿Cuánto tiempo estará funcionando el equipo para liberar 90 J?:

$$t = \frac{J}{W} = \frac{90}{1} = 90 \text{ s}$$

2. ¿Cuántos julios corresponderán a cada punto?:

$$J_{\text{punto}} = \frac{J_{\text{totales}}}{\text{Número de puntos}} = \frac{90}{6} = 90 \text{ J por cada punto}$$

3. ¿Cuánto tiempo corresponderá a cada punto?:

$$t_{\text{punto}} = \frac{\text{Dosis}}{\text{Potencia}} = \frac{90}{6} = 15 \text{ s por cada punto}$$

Tercer caso

Para una miositis en el grupo muscular de los epicondíleos se aplica láser de He-Ne en un barrido de 50 cm², con una dosis de 8 J/cm². El aparato emite 20 mW eficaces (Fig. 17-31). ¿Cuántos son los julios totales? ¿Cuál es el tiempo total?:

1. Julios totales:

$J_t = W \cdot t$, pero, puesto que falta el tiempo, se buscará otro procedimiento:

$$J_t = J/\text{cm}^2 \cdot S/\text{cm}^2 = 8 \cdot 50 = 400 \text{ J}_t$$



Figura 17-30. Aplicación de seis puntos sobre una bursitis subdeltoidea.

2. Tiempo total:

$$t = \frac{J_t}{W} = \frac{400}{0,020} = 20.000 \text{ s}$$

Sin embargo, supóngase que todavía no se han hallado los julios totales y se necesita encontrar el resultado sin este dato. Se dispone de la siguiente fórmula:

$$t = \frac{J_t}{W}$$

Hay dos incógnitas (el tiempo y los julios totales), pero un solo dato (potencia de 0,020 W), con lo que no puede operarse a no

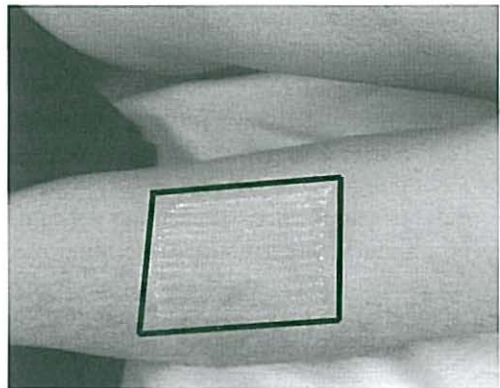


Figura 17-31. Dentro de la zona marcada se aprecia el barrido de láser sobre el paquete muscular epicondíleo.

ser que se sustituya alguno de ellos por otra expresión matemática equivalente y conocida. Si se analiza la situación, se llega a la conclusión de que la variable destinada a sustituir son los J_t de manera que:

$J_t = J/\text{cm}^2 \cdot S/\text{cm}^2$; en consecuencia:

$$t = \frac{J_t}{W} = \frac{(J/\text{cm}^2) \cdot (S/\text{cm}^2)}{W} = \frac{8 \cdot 50}{0,020} = 20.000 \text{ s}$$

$$20.000/60 = 333,3 \text{ minutos}$$

$$333,3/60 = 5,55 \text{ horas}$$

Es curioso, pero real. ¿Quién aplica las casi seis horas? ¿Será buena la dosis aplicada con los «veinte minutitos»?

Hay que tener muy en cuenta esta fórmula y mantenerla en la memoria ya que será la más utilizada en la práctica de la terapia láser siempre que se trabaje con barridos. Cuando se inicie el uso de equipos nuevos o desconocidos, debe contrastarse su programación con los datos aportados por el fabricante e integrarlos en esta fórmula (en algunos habrá sorpresas).

Frecuencia del pulsado

En relación con las frecuencias que se usan en el láser pulsado, existen dos tendencias:

- Láser con frecuencias específicas, de cuyos valores depende el efecto terapéutico, como las frecuencias de Nogier, de Bahr, de Reininger y alguna otra usadas en laserpuntura (v. «Laserpuntura», más adelante).
- Láser pulsado con frecuencias varias y decididas por los técnicos diseñadores del equipo para evitar la sobrecarga del diodo. A sus frecuencias no se les atribuyen efectos terapéuticos (salvo casualidad o coincidencia con las de laserpuntura).

Esta segunda modalidad es la más habitual en el láser energético usado en fisioterapia, por lo que, dependiendo de la tecnología construc-

tiva, unos equipos de láser con diodo ofrecen una gama de frecuencias y otros, otra. Todo obedece a evitar el calentamiento del diodo en exceso y su consiguiente destrucción. Influyen el tiempo del pulso, la potencia del pulso, el sistema de refrigeración, las tolerancias constructivas, etcétera.

Lógicamente, cuanto mayor sea la frecuencia, mayor será la potencia eficaz y el único efecto que tiene la frecuencia sobre el paciente se basa en conseguir que el suministro de energía resulte más o menos rápido. Lo mismo puede afirmarse de las diferentes potencias de pico o las anchúras de pulso.

Es falso el concepto de «frecuencia alta para casos crónicos y frecuencia baja para agudos», pues la frecuencia como tal no influye, pero puede afirmarse que potencia eficaz alta, es decir, suministro rápido de energía, se debe aplicar en procesos crónicos. En los procesos agudos es conveniente que el suministro energético sea lento (con frecuencias bajas o potencia de pico baja). En muchos procesos agudos, no está indicado el aporte energético, sino su absorción por aplicación de frío.

Cuarto caso

Se desean aplicar 4 J con láser de diodo sobre un punto doloroso aparecido en un músculo escaleno con un equipo que ofrece (Fig. 17-32):



Figura 17-32. Aplicación puntual sobre el músculo escaleno.

- 20 W_{pico}.
- 200 ns de impulso.
- 1.000 Hz.

Se parte de la fórmula madre del láser que dice: $J = W \cdot t$:

- Se necesita hallar t ; por lo tanto, es una incógnita.
- Se sabe que han de ser 4 J.
- Se necesita la W_{eficaz} y no la W_{pico} .

Para saber la potencia eficaz, debe formularse como sigue:

$$W_{\text{eficaz}} = W_{\text{pico}} \cdot t_{\text{impulso}} \cdot F_{\text{Hz}}$$

Ya se dispone de todos los datos necesarios para calcular el tiempo que va a durar la sesión con la siguiente fórmula:

$$t = \frac{J_i}{W_{\text{pico}} \cdot t_{\text{pulso}} \cdot F_{\text{Hz}}} = \frac{4}{20 \cdot 0,000000200 \cdot 1.000} = \frac{4}{0,004} = 1.000 \text{ s}$$

Es decir, alrededor de 16,6 minutos. Éste es el tiempo necesario para aplicar 4 J sobre un punto sin tener en cuenta otros factores de pérdidas por ángulos de divergencia, por el uso de fibras ópticas o por sistemas de focalización.

Es importante considerar en este tipo de aplicaciones manuales y puntuales el siguiente fenómeno: muchos de los puntos dolorosos musculares coinciden con los puntos gatillo que, si se tratan con una presión mantenida según la técnica de Jons, el dolor, la contractura muscular y posibles compresiones radicales desaparecerán. Entonces procede preguntarse: ¿qué ha conseguido la remisión de los síntomas: la presión mantenida del cabezal o la energía láser aplicada?

Quinto caso

Sobre una condropatía rotuliana se aplican 15 J/cm² con un láser divergente de diodo, que irradia 100 W de pico y cuyo tiempo de impulso es 200 ns, con 5.000 Hz, sobre la base de un cono cuya superficie es 50 cm² (Fig. 17-33).

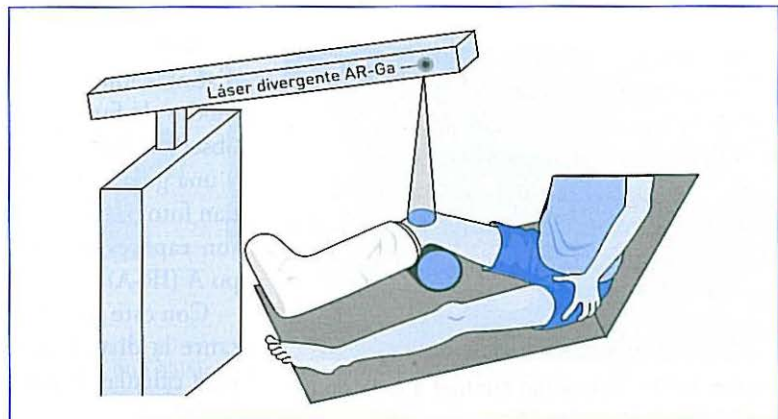
¿Cuánto tiempo se necesita para la sesión? ¿Cómo sería la fórmula aplicada?:

$$t = \frac{J_i}{W_{\text{pico}} \cdot t_{\text{pulso}} \cdot F_{\text{Hz}}} = \frac{(J/\text{cm}^2) \cdot (S/\text{cm}^2)}{W_{\text{pico}} \cdot t_{\text{pulso}} \cdot F_{\text{Hz}}} = \frac{15 \cdot 50}{100 \cdot 0,0000002 \cdot 5.000} = \frac{750}{0,1} = 7.500 \text{ s}$$

$$7.500 / 60 = 125 \text{ minutos}$$

$$125 / 60 = 2,08 \text{ horas}$$

Figura 17-33. Aplicación en cono divergente sobre la cara anterior de la rodilla.



Este ejemplo es real y cotidiano, pues 15 J/cm^2 es una dosis de uso habitual, frente a lo cual cabe preguntarse: ¿en realidad se aplican en los gabinetes las más de 2 horas correspondientes en cada sesión? En este caso puede hallarse la razón del fracaso de esta terapia y, para los detractores, el alimento del derrotismo.

Sexto caso

Se aplica en cuatro puntos a lo largo de un proceso de tendinitis en el tendón del tibial posterior laserterapia puntual con 5 W_p , a 350 Hz y con $50 \mu\text{s}$ de impulso, de manera que cada punto reciba 8 J (Fig. 17-34).

1. ¿Cuánto tiempo es necesario para cada punto?:

$$t = \frac{J_t}{W_{\text{pico}} \cdot t_{\text{pulso}} \cdot F_{\text{Hz}}} = \frac{8}{5 \cdot 0,000002 \cdot 350} = \frac{8}{0,0875} = 91,42 \text{ s}$$

Cada $91,42 \text{ s}$ se aplicarán 8 J en un punto. Si se multiplican por cuatro, se obtendrá la energía o trabajo total aplicado en julios.

2. ¿Cuál es la energía total aplicada?:

$$8 \text{ J} \cdot 4 \text{ puntos} = 32 \text{ J}_t$$



Figura 17-34. Aplicación puntual a lo largo del tendón del tibial posterior.

3. ¿Cuánto tiempo requiere cada julio?:

$$\text{Si en } 8 \text{ J se emplean } 91,42 \text{ s, en } 1 \text{ J} = X \\ 1 \cdot 91,42 / 8 = 11,42 \text{ s}$$

Otra forma de aplicar el láser con equipo de parámetros fijos y aplicación puntual (a partir del último cálculo) consiste en hallar el tiempo necesario para 1 J y multiplicar este valor por el número de julios deseados.

En los tratamientos con láser pulsante, lo primero que llama la atención es:

- Su gran pérdida de potencia.
- La potencia eficaz ha de ser calculada de forma previa.
- Los tiempos de aplicación pueden resultar largos en exceso.
- No es práctico usar el láser pulsante de potencia eficaz baja para barridos o para conos de superficies bastante amplias, por lo que debe reservarse para aplicaciones puntuales y dosis bajas.

Por este motivo, siempre se aplicará el cabezal sobre puntos concretos y se evitará proceder a deslizamientos por la zona.

De forma constante se están buscando nuevas soluciones para poder aplicarlo en forma de barrido, bien con varios haces a la vez bien con aumento de la potencia y con la mejora de la eficacia de los equipos, como puede observarse en la [figura 17-35](#), en la cual se aprecia un cabezal para irradiar distintas longitudes de onda y por distintos diodos de forma simultánea; en B y en C se observan dos formas de haces de infrarrojos y una guía visible. En este caso, los haces se han fotografiado porque las cámaras digitales son capaces de captar los infrarrojos de tipo A (IR-A).

Con este tipo de cabezales es muy importante la distancia y la divergencia del haz para calcular la potencia recibida por el paciente.

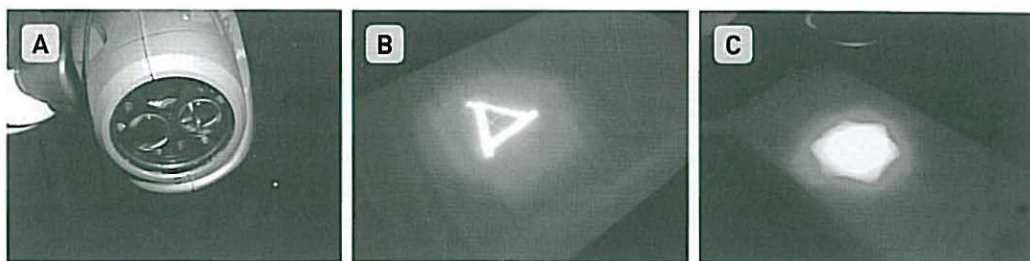


Figura 17-35. A) Cabezal con diodos arracimados para emitir sumando sus potencias. Éste posee dos tipos de emisión. B) Una modalidad de emisión con tres diodos. C) Emisión simultánea de los seis diodos periféricos de forma simultánea.

Boquillas de separación

Para aprovechar la divergencia del haz, algunos fabricantes incluyen, junto con el cabezal, dos o tres boquillas para intercambiarlas en la salida del haz a fin de adaptar la distancia justa para conseguir sobre el paciente superficies de irradiación precisas, como 0,1; 1; 1,5, o 2 cm² (Fig. 17-36).

Es necesario introducir el dato referido en la boquilla encajada sobre la superficie correspondiente para que el equipo realice sus cálculos sin errores, dado que por diversas razones el fabricante diseña los cabezales con una divergencia establecida previamente. Es frecuente esta modalidad en los equipos con potencias considerables en que, si no se aleja la fuente de luz, se pueden causar quemaduras.

Séptimo caso

Se dispone de un equipo para emitir láser IR de CO₂, con potencia regulable y continuo (no pulsado) para tratar una zona (en barrido) de 100 cm², con potencia de 6 W y dosis de 20 J/cm² (Fig. 17-37).

¿Cuánto tiempo durará la sesión?:

$$t = \frac{\text{Dosis} \cdot \text{Superficie}}{\text{Potencia}} = \frac{(J/cm^2) \cdot (S/cm^2)}{W} =$$

$$= \frac{20 \cdot 100}{6} = 333,3 \text{ s}$$

$$333 \text{ s} / 60 = 5,5 \text{ minutos}$$

Los modernos sistemas de barridos o en cono divergente con diodos muy potentes también pueden utilizarse como sustituto del CO₂.

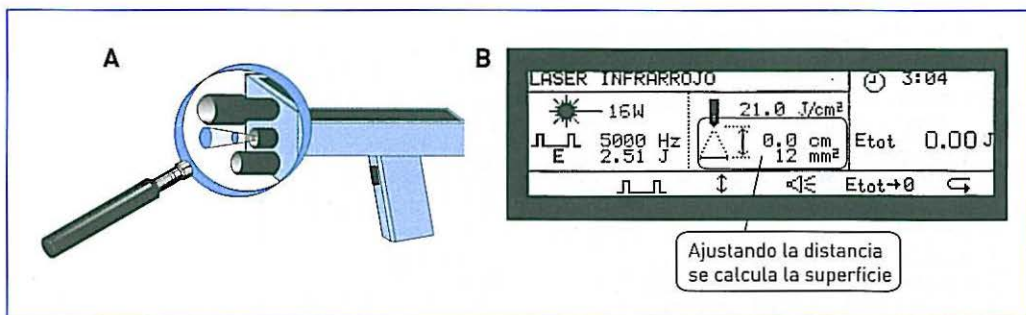


Figura 17-36. A) Sistema de boquillas que ajustan la distancia entre el cabezal y la piel. B) Pantalla de un equipo láser que requiere ajuste de la distancia para conocer la superficie cubierta y la potencia real que recibe el paciente.



Figura 17-37. Aplicación en barrido con láser infrarrojo de CO₂.

Llama claramente la atención que, aunque la dosis es elevada y la superficie importante, el tiempo de 5,5 minutos resulta muy moderado debido a la potencia de 6 W reales y continuos. El láser de CO₂ es la alternativa en realidad eficaz y definitiva para evitar mala práctica y tratamientos engañosos.

Entre el infrarrojo de los diodos y el infrarrojo del CO₂ no se aclara nada en la bibliografía al respecto de su mejor indicación, con lo cual también pueden sustituirse ambos por lámparas estándar de infrarrojos, las cuales resultan tan potentes como el láser de CO₂ (v. cap. 16).

EQUIPOS DE LÁSER

Dado que existen dos sistemas distintos, uno para barridos o conos divergentes, donde

se regula la superficie, y otro puntual, en el cual la superficie se toma como un valor prefijado, la forma y regulación de parámetros suele ser algo distinta aunque muy parecida. Se va a representar un posible cuadro de mandos de ambos sistemas con las condiciones y parámetros mínimos de ajuste para que los equipos puedan establecer sus cálculos y la duración de la sesión.

Panel de láser puntual

Si se divide el frontal en dos sectores (superior e inferior), en el superior, de izquierda a derecha, se encuentran indicadores numéricos que expresan valores modificables con dos teclas (una para aumentar y la otra para disminuir). Los dos últimos indicadores de la derecha no poseen teclas, pues son valores calculados y presentados por el equipo después de realizar sus procesos matemáticos (*el tiempo no se debe ajustar*). En la banda inferior se encuentra la regulación para el número de puntos, la indicación del número de puntos que restan según avanza la sesión y el tiempo en cuenta atrás hasta alcanzar el 0. Asimismo, se observa el detector y el medidor de la potencia de salida, las teclas de reinicio de datos, el inicio de sesión y la parada voluntaria de la sesión. A continuación, se detallan por partes (Fig. 17-38).

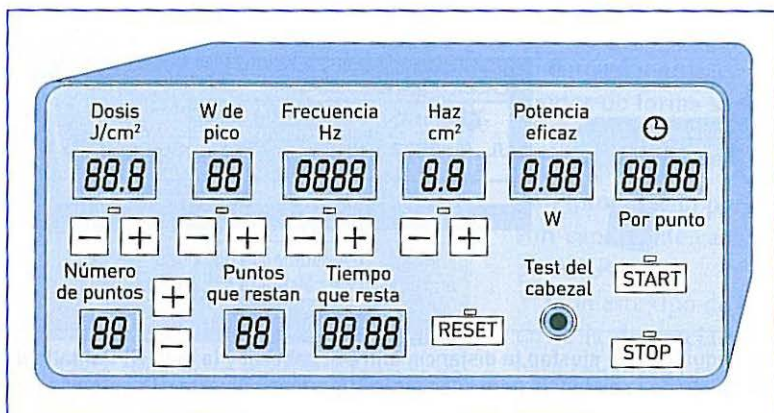


Figura 17-38. Hipotético cuadro de mandos para un aparato de láser pulsado, de diodo y puntual.

Ajuste de dosis. Es un parámetro fundamental que se debe introducir, el cual dependerá de las pretensiones terapéuticas.

Ajuste de potencia de pico. Depende de las características de fábrica, en general, y se dispone de varias posibilidades. Cuanto mayor sea el valor, más corta será la sesión y menor será la vida media del diodo.

Ajuste de frecuencia. Según el fabricante, unos trabajan con frecuencias bastante bajas y otros alcanzan valores distintos. Este parámetro obedece a características constructivas. A mayor frecuencia, menor será el tiempo de sesión y menor la vida media del diodo.

Ajuste de la superficie irradiada por el haz. También, según el modelo y el fabricante, puede disponerse de una única superficie (entonces, este ajuste no existirá) o varios valores según las boquillas de intercambio. Este valor es fundamental para que el aparato calcule bien las condiciones de la sesión. Otros equipos solicitan la distancia entre el cabezal y la piel para calcular la superficie, según sus grados de divergencia. A mayor superficie, más prolongada resultará la sesión.

Información de la potencia eficaz. Después de haber ajustado y modificado los parámetros, el equipo calcula la potencia eficaz y la presenta. Cuanto mayor sea este valor, menor será el tiempo de sesión y menor la vida media del diodo. Es conveniente no abusar de ajustes al límite superior, pues el agotamiento del diodo se acelera. Véase la fórmula de potencia eficaz.

Tiempo para una aplicación o punto. En principio, el equipo debe indicar el tiempo de acuerdo con una aplicación. Después se le añadirá el número de veces que se desea repetir.

Número de puntos. Debe indicarse al equipo el número de veces que se desea repetir la aplicación calculada y el aparato debe controlarlas hasta finalizar, pues la memoria del terapeuta, cuando está pendiente de otras cuestiones, puede flaquear.

Tiempo total. El equipo calculará el tiempo que tardará en aplicar todos los puntos y lle-

vará a cabo una cuenta atrás hasta alcanzar el 0 y finalizar el tratamiento completo de forma automática.

Tecla de Reset o reinicio de parámetros. Si se aprecian errores o cambios de opinión en los ajustes, así como retocar un tratamiento sobre lo programado, es conveniente disponer de una tecla (aunque no necesaria) para reiniciar todo lo programado y volver a comenzar.

Tecla Start o inicio del tratamiento. Esta tecla debe estar repetida en el cabezal para iniciar la sesión desde éste. También servirá para comenzar el tiempo de cada punto.

Tecla de Stop. Lógicamente, al pulsar esta tecla, se detendrá la sesión y su tiempo, que continuarán al pulsar de nuevo Start. Esta función también puede añadirse a un pulsador en el cabezal.

Detector de la potencia real en la salida. Los diodos emisores sufren agotamiento y pérdidas en sus características con el uso aunque depende mucho de la construcción y márgenes de calidad electrónica. Es básico que se conozca la eficacia o el nivel de pérdidas en la emisión para que los tratamientos sean ajustados a la dosis pretendida, a la vez que el tiempo pasa sobre el equipo. Pues, si se aplican dosis teóricas con caídas en la potencia sin saberlo, el tratamiento se convertirá en un fraude.

Algunos equipos disponen de detectores sólo para saber si el diodo emite o no emite, pero no es suficiente. Es necesario someter el equipo a un test de potencia en la salida para que se reajuste en sus cálculos y partir de los nuevos valores leídos en el detector. Este sistema encarecerá el equipo de láser, pero todo aparato para láser de diodo que no lo contemple debería estar fuera de norma.

Panel para láser de cañón

Como ejemplo característico, se tomará un láser de CO₂, pues los sistemas de He-Ne, en tanto no se resuelva su insuficiencia en la

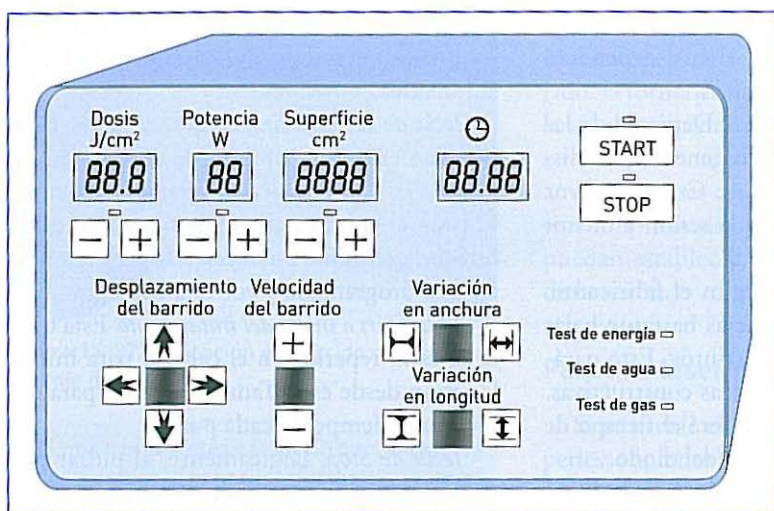


Figura 17-39. Hipotético panel de manejo de un equipo de láser de gas, en modo continuo y para barridos como el de CO₂.

potencia, no merecen la atención salvo si se aplican de forma puntual en acupuntura.

Si se observa la **figura 17-39**, se encontrarán los sistemas de control en el panel de manejo repartidos en dos sectores: el superior y el inferior. En el superior puede regularse la dosis y la potencia, la superficie del barrido indicará el tiempo de la sesión y su puesta en marcha o parada a voluntad. En la banda inferior se hallarán la localización del barrido, la velocidad del barrido, los ajustes de tamaño del barrido e información que el equipo aporta sobre su buen funcionamiento.

Ajuste de la dosis. Mediante las dos teclas inferiores pueden aumentarse o disminuirse los valores que se deseen de acuerdo con la terapia tratada.

Ajuste de potencia. Dado que los láseres de CO₂ son ajustables en su potencia, se hará lo posible para que el paciente sienta un calor moderado (no quemante). En barridos amplios se soportan valores mayores que en barridos pequeños. En barridos de 100 cm² pueden servir 5 o 6 W aunque depende de la sensibilidad del paciente. No es conveniente aplicar más de 10 W. Estos equipos no necesitan testeo en la salida, pues su medidor de potencia ya es, en

sí, el propio y constante testeo. Puesto que los fisioterapeutas no buscan el comportamiento quirúrgico, cuando se realicen tratamientos con potencias superiores a 1 W, siempre se hará mediante conos divergentes, barridos de puntos o barridos de superficies.

Superficie del barrido. Es fundamental que el equipo controle este parámetro para sus cálculos y tenga que introducirse después de medirlo con una regla graduada en centímetros. Algunos fabricantes piden la distancia entre el sistema de espejos y la piel para calcular la superficie de acuerdo con el giro de los espejos y la divergencia que generan (**Fig. 17-40**).

Tiempo de la sesión. El equipo aporta este parámetro de acuerdo con el resultado de sus cálculos. Iniciado el tratamiento, debe realizar un conteo en retroceso hasta llegar a 0 y parar de forma automática.

Tecla de Start o inicio de la sesión. Al pulsarla, comenzará la sesión hasta su parada automática o hasta que se pulse Stop.

Tecla de Stop. Si se pulsa durante el tratamiento, éste se detendrá y entrará en espera hasta que se vuelva a presionar Start.

Desplazamiento completo del barrido. Si se pulsa cualquiera de las teclas que rodean este icono, el barrido se desplaza en el mismo sen-

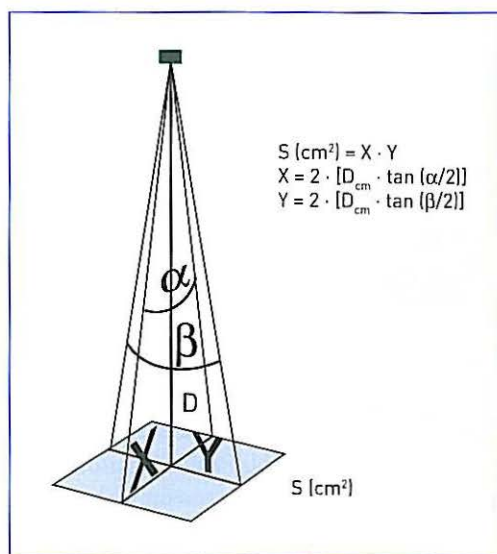


Figura 17-40. Fórmula para calcular la superficie [S] rectangular, teniendo en cuenta la distancia entre el foco y la piel, y los ángulos de divergencia.

tido sin que éste cambie de dimensiones. Así, podrá localizarse el escaneo sobre la zona tratada con precisión.

Velocidad de barrido. Es importante disponer de esta opción, pues puede influirse en la sensación térmica del paciente (dentro de ciertos límites). Cuando el barrido avanza lento, se detecta con intensidad el calor del rayo, pero, si se aumenta la velocidad, dicha sensación queda repartida por toda la zona irradiada.

Cambios en la superficie del barrido. El barrido o escaneo se podrá ampliar y disminuir, tanto en sentido horizontal como vertical. Para ello, si se observan las teclas que acompañan al icono de barrido, se entenderá con rapidez su manejo. Los barridos serán una línea que se aprecia de forma visual como tal (es decir, en sentido horizontal) y que se desplazará con mayor o menor rapidez en sentido vertical. Otras formas y dibujos no proceden, pues suelen dejar zonas sin iluminar. El barrido recomendado garantiza que toda la superficie escaneada recibirá un reparto homogéneo de la energía aplicada.

Información del estado de funcionamiento. Cada fabricante ofrecerá información suficiente para garantizar el buen uso del equipo, de forma que si faltase gas éste lo indicaría; si sufriera alguna alteración en su funcionamiento también lo avisaría y bloquearía su servicio.

Llave de control personalizado. Los sistemas de láser que emitan potencia considerable estarán provistos de su llave interruptor que impida el uso inadecuado a personal no instruido en su manejo y riesgos.

Panel para láser de cono divergente

Este sistema requiere diodos muy potentes o un conjunto de diodos que, si se suman sus potencias, se alcance desde 1 hasta 10 W eficaces (W_{ef}). También se incluirá el correspondiente sistema óptico para colimar dicha energía en determinados grados (bien como divergencia fija o bien como divergencia variable).



Vídeo 17-3. Láser de diodo 2

Un posible cuadro de mandos para controlar un cañón semejante al del equipo de láser de CO_2 podría ser el de la [figura 17-41](#).

Ajuste de la dosis. Mediante las dos teclas inferiores, pueden aumentarse o disminuirse los valores que se deseen de acuerdo con la terapia tratada.

Ajuste de potencia. Dado que los diodos emiten energía según el suministro eléctrico (ajustados en voltaje e intensidad), es posible regular la potencia entre un mínimo y un máximo en determinada gama de valores establecidos desde fábrica, según las posibilidades del sistema. La potencia ajustada provocará en el paciente un calor moderado (no quemante). Si la base del cono es amplia, se soportarán valores mayores que en bases pequeñas y cercanas al cañón. No es conveniente aplicar más de 10 W. Estos equipos necesitan testeo en la salida, pues los diodos sufren envejecimiento.

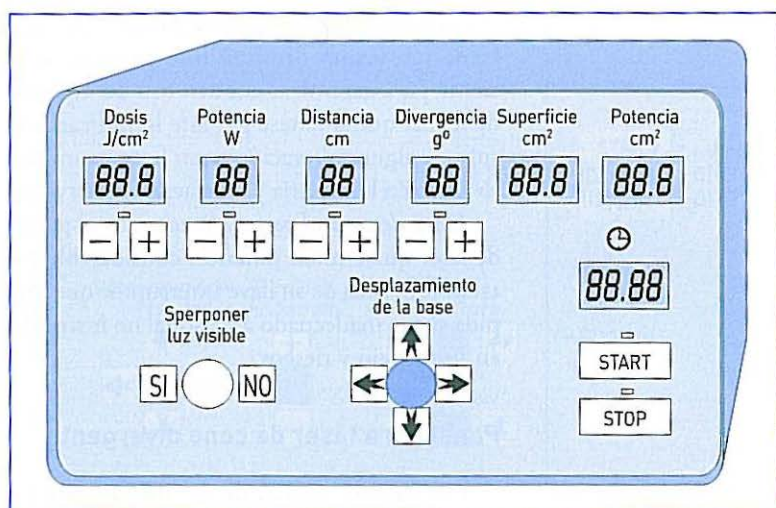


Figura 17-41. Hipotético panel de manejo de un equipo de láser continuo de diodo (o racimo de diodos) en cono divergente.

Distancia. Es fundamental que este parámetro lo controle el equipo para sus cálculos y tiene que introducirse después de medirlo con una regla graduada en centímetros. Este dato sirve para calcular la superficie y la potencia recibida en cada centímetro cuadrado de la piel.

Divergencia. Según la fabricación, estos aparatos pueden disponer de un sistema óptico fijo, lo que permite una divergencia única o un sistema óptico móvil que admite ciertos límites en la variación de sus grados de divergencia. Si fuera posible, con las teclas de más y menos, se ajustarían las distintas divergencias para conseguir bases del cono de distinto tamaño. A mayor divergencia, menor densidad de potencia recibida por unidad de superficie.

Superficie. El equipo presenta este valor después de calcularlo a partir de los parámetros anteriores. Es importante disponer de esta opción para contrastarla de forma manual, es decir, medir sobre el paciente y a una determinada distancia (Fig. 17-42).

Potencia teórica que recibe el paciente en cada centímetro cuadrado de la piel. El equipo calcula y presenta la potencia que en teoría recibe el paciente por cada centímetro cuadrado a partir de la potencia total emitida repartida

entre la superficie en centímetros cuadrados, de la superficie, de la divergencia y de la altura o distancia entre el foco y la piel. Si el fisioterapeuta se basa en esta información, podrá calcular a mano la dosis.

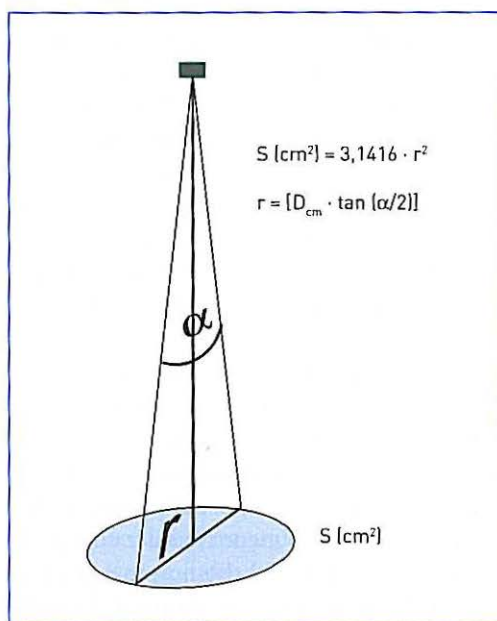


Figura 17-42. Fórmula para calcular la superficie (S) circular teniendo en cuenta la distancia entre el foco y la piel, y el ángulo de divergencia.

Tiempo de la sesión. El aparato calcula el tiempo y lo presenta en el indicador. Desde el inicio de la sesión, el conteo será regresivo, segundo a segundo, hasta alcanzar el 00:00, momento en que se activará automáticamente el Stop.

Tecla de Start o inicio de la sesión. Al pulsarla, comenzará la sesión hasta su parada automática al final del tiempo o pulsado de la tecla Stop.

Tecla de Stop. Si se pulsa durante el tratamiento, éste se detendrá, cortará la emisión y entrará en espera hasta volver a presionar Start y continuar con los valores de parada.

Desplazamiento completo de la base cónica. Si se pulsa cualquiera de las teclas que rodean este círculo, todo él se desplazará en el mismo sentido sin que éste cambie de dimensiones. Así podrá localizarse el foco sobre la zona tratada con precisión.

Proyección de luz visible superpuesta al foco de infrarrojos. Para dirigir dónde se recibirá la irradiación y la zona cubierta, puede activarse un sistema de proyección en luz visible. Este sistema puede activarse de manera momentánea o mantenerlo fijo durante la sesión. Si la luz visible es intensa y coincide con los rayos infrarrojos, puede interferir en éstos.

Llave de control personalizado. Los sistemas de láser que emitan potencia considerable estarán provistos de su llave interruptor que impida el uso inadecuado a personal no instruido en su manejo y riesgos.

EFFECTOS DEL LÁSER

Al bombardear los tejidos vivos con energía en forma de radiofrecuencia en rayos infrarrojos, se provoca un aumento de la energía propia del organismo, semejante al calor procedente del metabolismo energético. El calor es necesario para la síntesis de proteínas, trasvases iónicos y generación de nuevas moléculas destinadas a la reconstrucción orgánica o aporte energético.

Con más detalle, la aplicación de infrarrojos (calor) favorecerá, sobre todo, al ambiente intercelular para que sus iones se desplacen con fluidez y se faciliten los intercambios osmóticos pasivos a través de la membrana celular.

Sin embargo, frente a los procesos patológicos, es fundamental la ayuda energética para facilitar los intercambios asistidos y activos entre la célula y su ambiente extracelular, con iones como sodio, potasio, calcio, hierro, hidrógeno, cloruro, yoduro, urato, diferentes azúcares y aminoácidos. Dado que todos ellos se transportan o se intercambian en la célula de forma asistida o activa, siempre se requiere energía en forma de calor.

Para conseguir concentrar 10 veces un osmol de una sustancia contra su gradiente, son necesarias 1.400 cal, lo cual indica el gran consumo energético que se requiere para nutrir o eliminar desechos de forma activa en el intercambio celular.

Además, la propia bomba de sodio-potasio se basa en la proteína ATPasa como motor energético, es decir, cuando se requiere energía, el adenosín trifosfato (ATP) libera un fosfato y calor, pero para reconstruirlo, el Adenosín difosfato (ADP) se recompone en ATP y adquiere el tercer fosfato con aporte energético que, en casos de deficiencias metabólicas, es escaso y la administración mediante láser resuelve el déficit.

Si fracasara la bomba de sodio-potasio, la célula se hincharía de agua hasta estallar. Al iniciarse la invasión de agua en el interior, de forma automática se activa la bomba de $\text{Na}^+\text{-K}^+$, pero, si no se dispone de suficiente energía térmica, ésta fallará.

También el buen funcionamiento de la bomba de $\text{Na}^+\text{-K}^+$ genera un buen nivel de polarización en la membrana. Si falla, se perderá la polarización celular.

El aporte de calor también contribuirá al adecuado funcionamiento de la bomba de calcio (Ca^{++}), formada por otra proteína ATPasa específica para el calcio de funcionamiento semejante a la bomba de $\text{Na}^+\text{-K}^+$.

Se han llegado a identificar otras proteínas ATPasa encargadas del transporte activo de glucosa y aminoácidos, las cuales trabajarán de forma adecuada en ambientes electroquímicos equilibrados y sanos. En cuanto aparezcan síntomas de alteración, pueden verse afectados y el consiguiente aporte energético vía calor resuelve dichos déficits.

Con todo, esta energía puede proceder del láser o de otra fuente aunque no posea las características propias del láser: compresión caliente, calor solar, manta eléctrica, onda corta o microonda, infrarrojos estándares, etc. (v. cap. 16).

A modo de aprendizaje y observación, es interesante realizar el siguiente experimento: en un paciente con un hematoma extendido a distancia de la lesión, pero con su importante aspecto morado, se aplica láser de CO_2 a 15 J/cm^2 sobre parte de la superficie afectada por la mancha (siempre la misma) para observar cómo evoluciona el aspecto y la rapidez en la absorción respecto a la zona no tratada.

En general, podría afirmarse que el láser manifiesta efectos terapéuticos en todas aquellas patologías que se deban, sobre todo, a las alteraciones metabólicas por defecto o requieran aporte energético, y no están tan claros en patologías con metabolismo exacerbado (inflamación aguda). La práctica cotidiana así lo demuestra.

El efecto antiinflamatorio se presentará, sobre todo, en procesos cronificados que conlleven estasis circulatoria (más linfática que venosa), proliferación de colágeno (colagenosis), acidificación del medio, tendencia al estado de gel en la zona e intoxicación por catabolitos procedentes del metabolismo celular.

El efecto antiálgico también se producirá en dolores procedentes de la estimulación de los nociceptores químicos (dolores químicos), pero no se presenta de forma tan clara en los dolores procedentes de los nociceptores mecá-

nicos, aunque ambos tipos de dolores suelen actuar de manera simultánea e influyen en el componente mecánico debido a la alteración bioquímica.

Los efectos beneficiosos en la cicatrización de úlceras son claros aunque, si cursan con procesos infecciosos, los resultados son muy variables. En las úlceras se requiere energía para sintetizar la materia estructural, destinada a la cicatriz (energía requerida por las proteínas ATPasa encargadas del transporte de aminoácidos), pero, debido al estado de estasis circulatoria, el poco aporte de nutrientes, la intoxicación metabólica de la zona, la alteración del pH, el poco movimiento browniano, etc., fracasará el sistema. Entonces, el suficiente aporte energético en la banda de infrarrojos contribuirá a resolver cada uno de los procesos antes enumerados.

Cuando se conozca mejor lo que ocurre dentro de las mitocondrias celulares, cómo actúan de forma exacta las proteínas compuerta o ATPasa de las membranas celulares, cuándo y en qué casos activan o inhiben la gran abundancia de neurotransmisores, etc., podrán comprenderse con claridad los efectos positivos y negativos del láser, junto con los de otras aplicaciones electromagnéticas usadas, en general, por los fisioterapeutas (p. ej., luz visible o lámpara de infrarrojos).

No conviene olvidar que las hojas de las plantas realizan todos sus procesos de transformación de materias inorgánicas en orgánicas cuando toman el CO_2 del aire, el agua y minerales de la tierra para componer las proteínas y demás sustancias necesarias para la estructura y el metabolismo de la planta.

Del CO_2 más H_2O , la hoja sintetiza CH_2O más O_2 , es decir, toma el anhídrido carbónico más agua para transformarse en aldehído fórmico más oxígeno en forma de gas. Con todo, no es posible realizar este proceso sin la participación de la luz. El formaldehído es una molécula orgánica básica para otras cadenas proteínicas complejas que permitirán la con-

tinuación de la vida vegetal y animal. Sin embargo, todos los procesos de síntesis necesitan energía para su conclusión, energía aportada por las radiaciones infrarrojas y la luz.

Cabría preguntarse si los pacientes evolucionarían peor, mejor o sería indiferente si se los sometiera a baños de sol.

DOSIS RECOMENDADAS

La mayor dificultad se encuentra en establecer la cantidad de energía necesaria y suficiente para favorecer los procesos patológicos sin saturar la zona. Además, es posible que la saturación no implique mayor problema.

La aplicación de termoterapia profunda mediante alta frecuencia de onda corta o microonda consiste en saturar el sistema biológico hasta provocar la defensa de termorregulación. Si esta técnica se considera válida y positiva (contrastada durante muchos años), tampoco será dificultad saturar al organismo con láser.

La aplicación de infrarrojos estándar, de igual forma, busca la saturación de la zona, y llegan a aplicarse dosis entre 50 y 100 J/cm² y también se considera sobradamente contrastada (v. «Dosis», en el cap. 16).

Es muy probable que la saturación sea perfectamente tolerada en procesos patológicos con déficit metabólico e, incluso, que la provocación de la termorregulación por vasodilatación favorezca la reaparición de nuevos capilares sanguíneos y linfáticos. Sin embargo, en procesos patológicos en que la actividad metabólica está exacerbada, como se ha comentado con anterioridad, está indicado retirar energía mediante frío (v. «Curvas características del comportamiento biológico», en el cap. 6).

En el láser quirúrgico o el empleado en dermatología para destruir (volatilizar) alteraciones en la piel, es bastante fácil establecer la dosis, pues se trabaja ante un *feed-back* que conduce a reajustar hasta alcanzar el objetivo sin importar los julios ajustados. Sin embargo, el concepto de energía depositada no genera

mayor preocupación que la curiosidad científica. En fisioterapia, la respuesta no es tan palpable ni visible, circunstancia que obliga a trabajar con presupuestos nada claros y sometidos a polémica.

Lo habitual es que estas dudas se intenten resolver a base de experimentación y tanteo estadístico. Con investigaciones serias en el laboratorio por parte de biofísicos, se alcanzarían antes conclusiones más precisas.

No obstante, desde que se inició la terapéutica láser, cada casa ha indicado con sus equipos dosis para distintas patologías. En sus inicios se recomendaron máximos de 10 a 15 J/cm², pero en la actualidad se llegan a recomendar hasta 30 y 40 J/cm². También es muy frecuente encontrar gran confusión en las tablas indicativas que acompañan a las instrucciones de manejo o programas establecidos de manera previa. Además, por la experiencia cotidiana de profesionales interesados en el tema y dotados de suficiente técnica para dosificar de manera adecuada, se sabe que, si no se superan las dosis recomendadas como límite, no se conseguirán las respuestas deseadas. Queda mucho por hacer en cuanto al establecimiento de dosis adecuadas.

Asimismo, en más de una ocasión, en algunos equipos y con las recomendaciones de los fabricantes para tratar a los pacientes (sin seguir el método presentado en este capítulo), al integrar los datos sugeridos en la fórmula de dosificación, el resultado de julios por centímetro cuadrado supera con mucho los límites de 40 J/cm².

PROTOCOLO DE DOSIFICACIÓN

En primer lugar se establecerán las patologías de acuerdo con su profundidad:

- A cielo abierto.
- Superficiales (hasta 5 mm).
- De profundidad media (entre 5 y 20 mm).
- Profundas (más de 20 mm).

En principio, la potencia regulada debe ser distinta (si el equipo lo permite). A mayor profundidad, mayor potencia. En los láseres pulsados, para alcanzar profundidad, se regulará la potencia de pico muy alta, pues no es lo mismo elevar la potencia eficaz con la de pico baja y frecuencia alta, que potencia de pico alta y frecuencia baja. Con la potencia de pico alta se consigue penetración. Con potencia eficaz alta se consigue un depósito de energía más rápido (se recomienda volver sobre el ejemplo de la lluvia).



Vídeo 17-4. Láser de CO₂ 2

Además, se diferenciará entre procesos agudos, subagudos y crónicos.

En patologías agudas, no es recomendable aplicar energía, salvo con baja potencia eficaz, donde el depósito energético será poco y muy lento, es decir, de 2 a 6 J/cm² con tiempos largos de sesión.

En procesos subagudos, la potencia eficaz se mantendrá en valores medios bajos para evitar el depósito acelerado de energía (a su vez, matizada por la profundidad). La dosis puede elevarse dentro de 4-10 J/cm².

En procesos patológicos crónicos, deben regularse potencias elevadas y dosis también altas. Lógicamente, la profundidad influirá en la potencia utilizada. Las dosis pueden decidirse dentro de amplios márgenes de acuerdo con los procesos patológicos, lo que sugiere alcanzar hasta 40 J/cm² (v. «Dosis», en el cap. 16).

Otra clasificación o diferenciación que debe considerarse será el tipo de patología. El láser puede aplicarse en procesos ulcerosos, procesos varicosos, sinovitis, tendinitis, capsulitis, fibromialgia, fibrositis, celulitis y, en general, en toda enfermedad que curse con déficit metabólico y acumulación de catabolitos en que se pretenda acelerar su trofismo.

Procesos ulcerosos

Dado que estas alteraciones se tratan por su lenta evolución cicatricial, el láser favorecerá la

regeneración y reproducción celular con más rapidez al permitir que todas las bombas de membrana trabajen para sintetizar proteínas, regenerar capilares inactivos y reequilibrar los ambientes intracelular y extracelular.

Puesto que son lesiones superficiales, no es necesaria mucha potencia. Tampoco la dosis requiere valores altos, es decir, entre 4 y 10 J/cm² pueden resultar suficientes. Es interesante matizar o especular sobre determinadas úlceras en las cuales interese saturar de forma térmica la zona para provocar vasodilatación y llegar hasta 10 o 15 J/cm² (pero con láser de CO₂). La mayor utilidad del láser de He-Ne se presenta en estos procesos patológicos.

Si la úlcera está infectada, no debe aplicarse láser porque se favorece la infección. La saturación energética o térmica en úlceras con secuestros, necrosis o con exudado supurante debe evitarse o limitarse a dosis bajas.

La modalidad de láser puntual o de diodo se aplicará a distancia sin entrar en contacto directo con la herida para evitar su contaminación. Ello implica conocer la divergencia del haz y junto con la distancia averiguar la superficie abarcada y su correspondiente reducción en la potencia para calcular de nuevo la dosis.

Varices

Se manifiestan en la superficie corporal, por lo que no requieren gran potencia para conseguir el objetivo de penetrar, pero puede regularse a valores medios para que la sesión sea más corta, aunque debe considerarse la sensación térmica por si no interesa provocar vasodilatación.

Es muy llamativa la recuperación del tono vascular cuando se aplica láser y se consigue que las células epiteliales retomen su función, tersura y tamaño, así como la proliferación del colágeno «a modo de cemento» intercelular. En 4 o 5 sesiones se observan reducciones muy llamativas siempre que el sistema de dosificación sea correcto. Son recomendables de 5 a 15 J/cm².

Si la variz ha evolucionado hacia flebitis, tromboflebitis e, incluso, ulceración, las dosis serán bajas para evitar la saturación energética y la vasodilatación. Si el proceso es muy exacerbado, no se aplica este tratamiento.

La modalidad varicosa de hemorroides puede tratarse con resultados buenos aunque no es práctico el uso de láser de He-Ne por el gran tiempo de exposición ni tampoco el puntual de diodo, pero es muy útil el de CO₂ o de diodo divergente y potente ya que en tiempos muy cortos se consiguen dosis reales y adecuadas.

Tenosinovitis

Dependiendo de la profundidad a la cual se localice la enfermedad, se regularán los equipos con mayor o menor potencia. En gran número de casos, se tratarán las tenosinovitis mientras se las considera a profundidad media.

Si el proceso es muy agudo, tal vez requiera frío, pero en procesos subagudos y crónicos, el láser está indicado con dosis que pueden oscilar entre 15 y 25 J/cm² e, incluso, superiores.

Conviene elevar la potencia eficaz para reducir el tiempo de la sesión e, incluso, saturar de forma energética la zona hasta el enrojecimiento de la piel (con láser de CO₂). Es llamativa la respuesta de reducción dolorosa al final de la sesión cuando la dosis tiende a ser alta. Los efectos antiinflamatorios y de hipersensibilidad dolorosa se manifiestan de forma lenta al cabo de horas.

Muchas tendinitis se deben a sobrecarga por tensión, contractura de su músculo, por roce o por compresión. Así pues, en tanto no se elimine la causa generadora, el tratamiento con láser resultará relativamente efectivo.

Capsulitis y bursitis

Las dosis dependerán también de su momento en el proceso. Desde procesos subagudos hasta procesos crónicos pueden considerarse como buenas dosis entre 15 y 30 J/cm².

En casos crónicos, es interesante saturar la zona.

Tanto las cápsulas como las *bursas* pueden localizarse a profundidades muy dispares de la piel. Nada tiene que ver la cápsula coxofemoral con la rodilla o con las articulaciones interfalángicas de la mano.

Para tratar una cadera, se aplicará mucha potencia a fin de intentar que algo de energía alcance dicha cápsula. En caso de duda, habrá que conformarse con la energía depositada en los tejidos adyacentes o desistir del tratamiento. El láser de CO₂ puede resultar quemante para el paciente, pero puede ser más interesante el puntual con sistema de diodo (y potencia de pico alta) ya que se aplica en varios puntos con el cabezal orientado, para que todos converjan en la zona capsular tratada.

A la hora de tratar una rodilla, lógicamente, no debe forzarse la regulación de potencia y con valores medios será suficiente, salvo que se pretenda una sesión muy corta.

Es habitual que las capsulitis cursen con derrames articulares y se busque el doble efecto antiinflamatorio de cápsula y sinovial, además de acelerar el proceso de reabsorción del líquido intraarticular. Al favorecer la función sinovial y mantener el líquido fluido con otras técnicas, será un tratamiento muy interesante.

De 15 a 30 J/cm² suelen resultar adecuados, con barridos que cubran toda la zona y con láser de CO₂. La potencia estará entre 5 y 8 W según la superficie del barrido y la sensación térmica del paciente. Los sistemas de diodo puntual, excepto en puntos muy concretos, no ofrecen el mismo rendimiento que el CO₂ antes mencionado.

Periostitis

Por lo general, cursan como procesos insidiosos y de moderada reacción inflamatoria, pero son molestos en cuanto al dolor. Las periostitis más claras se localizan en zonas bastante superficiales y fáciles de alcanzar con la

radiación láser. Según esto, con potencias medias se consiguen los objetivos.

En casos agudos, pueden aplicarse de 5 a 15 J/cm²; en procesos crónicos, de 15 a 30 J/cm², dosis que ofrecerán buen resultado con barridos que cubran toda la zona con láser de CO₂. La potencia se situará entre 4 y 8 W según la superficie del barrido. Se busca el efecto antiinflamatorio y la regularización del trofismo local.

Entesitis

En las entesitis ofrecen buen resultado los láseres de diodo puntuales aunque tal vez parte de sus efectos se deban a la moderada presión realizada con el cabezal sobre la zona en los puntos elegidos como más activos. Es interesante comprobar resultados al practicar la sesión sin irradiar láser.

Los mejores resultados se consiguen con barridos de CO₂ y dosis adaptadas a su nivel de inflamación, pero en procesos subagudos y crónicos pueden depositarse entre 20 y 40 J/cm². La potencia dependerá mucho del barrido, pues, dado que las entesitis se localizan en pequeñas superficies, por lo general, se tiende a reducir la superficie del barrido, situación que conduce a reducir de forma importante la potencia para evitar molestias en el paciente. Además, es importante tener en cuenta la capacidad de penetración en zonas en que se pretenda alcanzar el foco patológico; en estos casos, la profundidad se consigue elevando la potencia.

No es lo mismo una entesitis en el epicóndilo o epitróclea que en la inserción de las regiones paravertebrales en el occipital, o que en el tendón de Aquiles, o un espolón calcáneo de la fascia plantar, o los amplios procesos generados en las zonas de inserción de la fascia lumbar sobre la cresta ilíaca. En general, en todos los casos se requiere bastante dosis para favorecer procesos de larga evolución y donde el aumento fibrótico que rodea la zona impide la adecuada nutrición (a excepción de los casos agudos).

Los procesos de entesitis persisten en muchas ocasiones por causa de la excesiva tensión mantenida del correspondiente tendón o músculo, por lo que, en tanto se mantenga dicha tensión, no remitirá la entesitis.

Procesos artríticos y artrósicos

En este paquete de procesos patológicos deben vigilarse los procesos infecciosos, así como en la evolución de brotes donde florecen y se acentúan los síntomas de forma que, en caso de aplicar láser, se realizará de manera prudente y a dosis bajas.

Salvando estas circunstancias, los procesos artrósicos son de los más adecuados e indicados para tratar con láser debido a su bajo trofismo, déficit circulatorio por destrucción de pequeños vasos, deshidratación y destrucción de tejidos, degeneración celular, evoluciones negativas con tendencia al bloqueo articular, destrucción de cartílago, inflamación sinovial y persistencia de dolor.

Estas patologías se localizan en diversas articulaciones, por lo que los tratamientos son largos y repetidos en las articulaciones tratadas. Los barridos serán amplios para cubrir bien la articulación y las zonas próximas. La potencia debe regularse bastante alta para penetrar y que la sesión sea corta, pero deberá vigilarse para no generar sensación de calor quemante en el paciente.

No merece la pena utilizar la técnica de He-Ne, excepto en pequeñas articulaciones y en modo puntual. El sistema de diodo puntual de baja potencia puede ofrecer resultados moderados en articulaciones pequeñas y puntos concretos. Los métodos de diodo divergente y de CO₂ serán los más adecuados.

Las dosis serán altas aunque estarán matizadas por los brotes de agudeza en los cuales se moderará; se depositarán dosis que pueden oscilar entre 25 y 40 J/cm² si se considera que no es igual tratar las articulaciones metacarpofalángicas de una mano que una cadera artrósica.

(v. «Diferencias entre infrarrojos estándares e infrarrojos láser», en el cap. 16).

En ocasiones se deben tratar ganglios neurovegetativos y trayectos de los plexos o raíces nerviosas que inervan la zona a fin de desencadenar respuestas neurovegetativas tendentes a la reacción trófica.

Fibromialgia, fibroneuralgia y fascitis

En estos procesos más o menos dolorosos de partes blandas, al explorarlos, se encuentran tejidos fibróticos adheridos a planos más profundos y también, al tejido celular subcutáneo. Dentro de la proliferación colagenosa, se depositan y se aíslan restos metabólicos en estado de gelatina, los cuales provocan dolor e irritación en la zona.

Se encuentran en situaciones de cronicidad, pero pueden sufrir brotes inflamatorios con dolor y causar incapacidad funcional en los tejidos adheridos (fibromialgia o fibroneuralgia). Si los atrapados y comprometidos son los paquetes nerviosos, se generarán irradiaciones a distancia con los distintos niveles de alteración neurálgica periférica.

El aporte energético en la banda de rayos infrarrojos es muy adecuado e indicado, pues todos los procesos bioquímicos contenidos en la red de fibrina se encuentran muy deficientes, por lo que una buena inyección energética acelera el trofismo. Para conseguir respuesta adecuada en el tratamiento con láser, de forma previa, debe localizarse la zona de fibrosis y aplicar láser de CO_2 en barridos que cubran toda la zona con potencias importantes para penetrar y conseguir sesiones cortas (p. ej., de 6 a 8 W). Las dosis serán de 30 a 40 J/cm² de acuerdo con la intensidad inflamatoria.

Las aplicaciones con láser puntual de diodo o de He-Ne no resultan prácticas: en el caso del diodo, por el gran número de puntos que se deben aplicar y con el de He-Ne se deposita tan poca energía que no merece ni el pensamiento de intentarlo.

Desgarros tisulares, derrames y hematomas

Los desgarros tisulares (tanto musculares como otros) generan rotura de vasos y extravasación de líquidos con su correspondiente acumulación más o menos difícil de reabsorber.

Interesa, por un lado, acelerar el proceso cicatricial y, por el otro, la reabsorción del derrame sanguíneo, linfático o sinovial.

Si se usa un sistema de CO_2 o diodo por cono divergente, en los procesos agudos y recientes no se deben superar 20 J/cm² (de 10 a 20 J/cm²); en los subagudos, una media de 25 J/cm², y en los cronificados pueden alcanzarse 35 J/cm². Las potencias reguladas deben adecuarse a la penetración pretendida y a la rapidez de la sesión; en procesos agudos e inflamados, pueden aplicarse sesiones largas o con depósito lento (potencias moderadas).

LASERPUNTURA

Los láseres de He-Ne y los de diodo de baja potencia (más estos segundos) se aplican de forma muy importante en terapias basadas en acupuntura (laserpuntura en este caso) para aplicar energía en puntos de acupuntura, activar meridianos, activar o inhibir zonas de la piel y otras variantes de tipo bioenergético.

Pueden usarse de modo continuo o pulsado, pero si se trata de un pulsado, debe incorporar sus frecuencias específicas, a las cuales se atribuye efecto terapéutico. Entre estas frecuencias se incluyen las de Paul Nogier, las de Frank Bahr o las de Manfred Reininger.

Las *frecuencias de Nogier* se aplican para explorar y para tratar (Tabla 17-4). Al paciente se le toma el pulso del reflejo auriculocardiaco a la vez que se prueban las siete frecuencias sobre la zona de lesión. En el momento que capta el reflejo auriculocardiaco, se está en la frecuencia terapéutica, y se mantiene la aplicación para realizar el tratamiento el tiempo necesario para depositar los julios deseados,

Tabla 17-4. Frecuencias de Nogier

Frecuencias de Paul Nogier			Utilidad terapéutica
U	1,14 Hz		Frecuencia universal de Nogier
A	2,28 Hz	292 Hz ^a	Combatir la inflamación
B	4,56 Hz	584 Hz	Procesos artrósicos
C	9,125 Hz	1.168 Hz	En contracturas musculares
D	18,25 Hz	2.336 Hz	En problemas de lateralidad ^b
E	36,5 Hz	4.672 Hz	Como antiálgica
F	73 Hz	9.344 Hz	Mejora de la cicatrización
G	146 Hz	18.688 Hz	En dolores de origen central

Como regla general, se usa la frecuencia baja para estimular y la frecuencia alta para sedar.

^a Las frecuencias de esta columna son las denominadas «frecuencias potenciadas de Nogier».

^b Problemas de lateralidad son los derivados de desequilibrios en la predominancia de los hemisferios cerebrales.

que en estos casos no suelen superar 8 J por punto.

En el mercado existen equipos de láser específicos para laserpuntura basados en las frecuencias de Nogier, en las de Bahr, en las de Reininger o en las tres de manera simultánea. En la figura 17-43, se presenta un cabezal diseñado para esta variedad terapéutica, que actúa de aplicador láser y buscador de puntos.

Las *frecuencias de Bahr* son diferentes, se clasifican en varios bloques como Bahr 1, Bahr 2, chakras y meridianos. Estas frecuencias ha-

cen referencia a sus influencias terapéuticas según el punto de vista holístico y más esotérico. A modo de ejemplo se pueden observar las frecuencias de Bahr 1 y Bahr 2 en la tabla 17-5.

Por lo que se refiere a las *frecuencias de Reininger*, son más variadas y complejas, están incluidas en programas de determinadas marcas de aparatos y de forma genérica se clasifican en RI, RII, RIII, de meridianos, frecuencias y antifrecuencias, frecuencias víricas y otras en proceso de investigación.

En esta obra sólo se hace referencia al mundo de las frecuencias bioenergéticas usadas en laserpuntura y auriculopuntura con láser, debido a su complejidad, pues el tema requiere dedicación expresa, interés y convencimiento. Sin embargo, merece una mención porque es una alternativa terapéutica que se encuentra cada vez más en equipos de laserterapia y porque en este campo son aprovechables los láseres de baja potencia.

CONTRAINDICACIONES Y PRECAUCIONES

Las contraindicaciones no están bien establecidas ni definidas, ya que por el momento

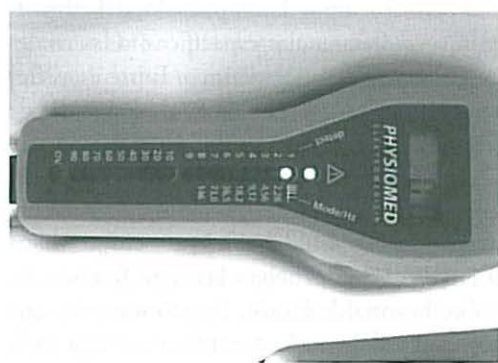


Figura 17-43. Cabezal aplicador de láser de diodo, en modo pulsado, con las frecuencias de Nogier y buscapuntos de acupuntura.

Tabla 17-5. Frecuencias de Bahr

Bahr 1 (en Hz)		Bahr 2 (en Hz)	
1. 599,5	Capa inferior del tejido	963,5	Dolor
2. 1.199	Capa central del tejido	1.131	Histeria
3. 2.398	Canal omega-REN	7.708	Homeopatía
4. 4.796	Puntos del canal omega-Du I	1.927	Antialergia
5. 9.592	Frecuencia superomega	699	Defensa
6. 19.184	Eje izquierdo, puntos derechos	637	Energía yang
7. 38.366	Eje derecho, puntos izquierdos	1.102	Energía yin

no se conocen todos sus efectos positivos o negativos, por lo que hay que actuar con prudencia y estar en continua espera de nuevas conclusiones y avances. Esta circunstancia es muy típica de aquellos sistemas que se publicitan (o se publicitaron) como si fueran la panacea.

No obstante, se está tratando de infrarrojos y el organismo está entrenado a recibir de forma constante dicha radiación de modo natural, en tal cantidad que se necesita para mantenerse vivo y confortable. Los rayos solares, los rayos de una lámpara de infrarrojos, los rayos de una fogata, de una estufa, del aire caliente, del agua caliente, de objetos calientes, etc. son orígenes diversos y variados que sólo se manifiestan como peligrosos cuando la aplicación de energía es demasiado acelerada y causa quemaduras.

Las posibles influencias en los procesos cancerígenos o de mutaciones genéticas deben observarse sin excesivo miedo ya que la banda de infrarrojos todavía permanece, de forma clara, dentro de las radiaciones no ionizantes, a una gran distancia del inicio de las ionizantes (ultravioletas de tipo C), ya que todavía se interpone todo el espectro visible y los ultravioletas de tipo A y B.

Lógicamente, deben evitarse las quemaduras, pero por suerte se dispone de una alarma natural puesta por el paciente cuando manifiesta sensación de calor quemante. En pacientes con pérdida de la sensibilidad tér-

mica, deben aplicarse potencias menores de lo habitual y dosis también más bajas, además de trabajar convencidos y seguros de que con la potencia aplicada no se corren riesgos aunque el paciente no detecte el calor. Ante la duda, no debe aplicarse.

Nunca se dejará el sistema de láser de CO₂ en un punto fijo: siempre debe moverse realizando un barrido bastante extenso. Es de vital importancia entrenarse de forma previa en las potencias medias más recomendadas en una superficie determinada. Por ejemplo, en 100 cm² se soportan bien 6 W, así como en 50 cm² se toleran 3 W.

En colecciones infecciosas o heridas infectadas debe evitarse la aplicación de láser si el proceso se manifiesta como florido. Sin embargo, en los larvados conviene tantear su aplicación con dosis moderadas (es decir, unos 5 J/cm²), pues con frecuencia los tejidos reciben el empuje necesario para la reactivación del sistema defensivo.

Se evitará que tanto el paciente como el terapeuta (u otra persona próxima) reciban sobre los ojos el rayo de láser de forma directa o reflejado por una superficie pulida. Para evitarlo, se usarán las correspondientes gafas protectoras que acompañan a todos los equipos para terapia láser (Fig. 17-44 y Tabla 17-3).

Este último punto es de especial trascendencia y sobre él hay que detenerse para su



Figura 17-44. Gafas protectoras para radiaciones de rayos infrarrojos específicas de los equipos láser.



Figura 17-45. Nunca mirar de forma directa al haz de rayos emitidos por un cabezal aunque no se vea nada.

análisis, por la posible doble afectación del paciente y del terapeuta, ya que el cristalino produce un efecto de convergencia en el haz de rayos que alcanza al ojo y concentra más aún su potencia sobre un pequeño punto de la retina.

Si se considera que los infrarrojos no son visibles, el terapeuta pondrá especial cuidado en el manejo y enfoque dirigido del cabezal en los sistemas de diodo, pues excesos de confianza o ligereza en el manejo, aunque se crea inactivo el rayo, pueden provocar emisiones inesperadas dirigidas a los ojos de alguna persona cercana o propios, con resultados fatales (Fig. 17-45).

El mayor peligro se halla en la exposición directa o reflejada por espejos u objetos reflectantes. El láser reflejado por superficies no pulidas pierde gran cantidad de su fuerza energética. Las superficies muy pulidas conservan un alto grado de reflexión, por lo que es necesario

tener una precaución constante ya que éstas son muy frecuentes en la vida cotidiana:

- Superficies del propio aparato.
- Cristales de ventanas, cuadros, objetos de cristal o relojes.
- Objetos metálicos.
- Joyas del paciente.
- Muebles pulidos y barnizados, etcétera.

Se reitera que, para protegerse de estos peligros, deben usarse las gafas suministradas a tal efecto por el fabricante y tratar de no caer en un exceso de confianza o desidia en el manejo.

Debe valorarse la instalación del equipo y los objetos que lo rodean con el fin de garantizar la seguridad en cuanto a posibles zonas de reflejos a la vez que se usarán colores muy absorbentes para la longitud de onda con que se está trabajando.



Autoevaluación

Material complementario en el sitio web

- Autoevaluación
- Vídeos:
 - 17-1. Láser de diodo 1
 - 17-2. Láser de CO₂ 1
 - 17-3. Láser de diodo 2
 - 17-4. Láser de CO₂ 2





18

Biofeedback y miofeedback en fisioterapia

Contenido

- Explicación de los conceptos de *feedback*, *biofeedback* y *miofeedback*
- Metodología de uso
- Ventajas e inconvenientes de las técnicas
- Protocolo de actuación
- Manejo de un hipotético *miofeedback*
- Indicaciones terapéuticas

Objetivos de aprendizaje

- Comprender el concepto de *feedback* o de observación-reacción.
- Asimilar las diferencias entre *biofeedback* y *miofeedback*.
- Dominar los dos modos fundamentales de uso.
- Comprender el manejo de los electrodos.
- Aprender y dominar los conceptos de sensibilidad, nivel de referencia y predominio de los canales.
- Asimilar los dos modos en que se aplica combinado con estimulación eléctrica.
- Saber las indicaciones del *miofeedback* y del *biofeedback*.
- Sobre todo, conocer los cuidados y limitaciones de la técnica.
- Entender bien el protocolo de actuación.

Síntesis conceptual

- ✓ En este capítulo se realiza una introducción al *biofeedback* de forma general y al *miofeedback* de forma más concreta.
- ✓ Se señalan las diferencias, las ventajas y los inconvenientes de estas técnicas, así como los modos de trabajo.
- ✓ Se describe un panel de manejo de un hipotético *miofeedback* y el protocolo más habitual de actuación.
- ✓ Se refieren algunas modalidades de aplicación.

INTRODUCCIÓN

Las técnicas de *biofeedback* y de *miiofeedback* son unas potentes herramientas en fisioterapia que ayudan al paciente y al fisioterapeuta; al primero, en su entrenamiento terapéutico, y al segundo, en el control objetivo de la evolución terapéutica del paciente. Además de los fisioterapeutas, muchos profesionales de la medicina, del deporte, de la psicología, de la ergonomía, de la enseñanza especial, de la observación biológica y otros también las aplican.

En las actividades de la vida cotidiana, las personas están guiadas de forma constante por la retroalimentación o información que modula la actividad voluntaria. Se actúa de acuerdo con lo que los sentidos perciben (puede imaginarse un conductor que cierra los ojos en una carretera cuando está en plena conducción). Otra función importante de esta herramienta consiste en que también permite romper la barrera de funciones biológicas consideradas neurovegetativas o no controlables por la actividad voluntaria, y convertirlas en objetivables, medibles y controlables (se puede objetivar el ritmo cardíaco, controlarlo e influir sobre los latidos del corazón).

El sistema consiste en aplicar al paciente detectores de la bioactividad explorada, procesar la información de manera electrónica y presentarla de forma visual, auditiva y sensorial para así objetivarla a nivel voluntario.

DEFINICIONES

El término *feedback* hace referencia a la retroalimentación (es decir, responder de acuerdo con lo observado). El *biofeedback* es el *feedback* referido a la actividad biológica en general. El *miiofeedback* es el *feedback* basado en captación de la electroactividad muscular.

Las técnicas de *biofeedback* controlan muchas actividades biológicas en general y los

fisioterapeutas trabajan con gran número de ellas. Sin embargo, una de sus variantes, la del *miiofeedback*, se emplea de forma muy frecuente y habitual. Los equipos usados procesan la información obtenida y la representan en pantallas con líneas o columnas, con columnas de *led* luminosos, con sonidos diversos, en valores numéricos, activando juguetes infantiles, etcétera.

Los equipos de calidad permiten acumular en la memoria los datos obtenidos para realizar estadísticas evolutivas con posterioridad. Esta propiedad, aunque muy interesante, no lo es tanto para los fisioterapeutas ya que éstos trabajan, en la práctica, en tiempo real, es decir, con observación directa a lo largo de la sesión para que el paciente aprecie el resultado de su esfuerzo en ese instante a fin de que actúe en consecuencia al siguiente intento. A pesar de ello tiene interés guardar muestreos para posteriores análisis estadísticos, informes evolutivos, cambios en la metodología, etcétera.

SISTEMAS DE BIOFEEDBACK

Es muy amplia la oferta tecnológica de los fabricantes; así, pueden encontrarse equipos que trabajan:

- Por percepción sensorial (vista, tacto, propiocepción, equilibrio, etc.).
- Por presión mecánica (presión de esfínteres).
- Por humedad (sudor u orina).
- Por actividad cerebral.
- Por temperatura.
- Por presión arterial.
- Por actividad mioeléctrica (*miiofeedback*).
- Por deformación (elongación o flexión).
- Por ritmo cardíaco,
- Por ritmo respiratorio, etcétera.

Los fisioterapeutas tienden a diferenciar el *miiofeedback* del *biofeedback*, aunque en realidad el *miiofeedback* es una variante del conjunto de técnicas del *biofeedback*, pero con gran trascendencia y potencial de maniobra.

VENTAJAS DE LAS TÉCNICAS DE BIOFEEDBACK Y DE MIOFEEDBACK

Las ventajas de este conjunto de técnicas residen en que permiten:

- Evitar miedos en el paciente, ya que no implica sensaciones desagradables para éste.
- La observación directa de la actividad terapéutica, tanto por parte del paciente como por parte del fisioterapeuta.
- Comparar la respuesta del lado afectado de patología con la del sano (en equipos con más de un canal).
- Mostrar al paciente el objetivo deseado si en primer lugar se lo aplica el terapeuta sobre sí mismo a modo de entrenamiento previo y explicación de la técnica.
- La comprensión rápida del trabajo encomendado por parte del paciente.
- La participación activa por parte del paciente.
- Aprender la evolución objetiva del proceso.
- Aplicar modificaciones para evitar errores o adaptarse a la evolución.
- Personalizar el método o protocolo en cada paciente.
- Ser de gran ayuda en procesos de parálisis.
- Ser inocuo (salvo por los cuidados lógicos en las aplicaciones intracavitarias).
- Trabajar con niños por la facilidad para adaptar el equipo a artilugios lúdicos.
- Trabajar con ancianos porque facilita la concentración en la terapia.
- Aplicarlo a pacientes con cierto nivel de incapacidad intelectual.



Videos 18-1 y 18-2. *Miofeedback* portátil y *Feedback* para niños

INCONVENIENTES DE LAS TÉCNICAS DE BIOFEEDBACK Y DE MIOFEEDBACK

Por lo general, los inconvenientes responden a cuestiones de tipo tecnológico:

- Se necesitan equipos de buena calidad y altas prestaciones.
- En terapias de incontinencias se requieren instalaciones adecuadas, metodologías de trabajo específicas, dominio y experiencia muy concreta en estas técnicas y cuidados higiénicos con el material.
- Las ondas eléctricas parasitarias abundan y con cierta frecuencia alteran el tratamiento normal.
- El cuidado y el manejo de los electrodos y los cables para el paciente deben ser exquisitos.
- Los equipos pequeños y portátiles limitan mucho las posibilidades de la terapia en cuanto a su capacidad de control de datos, pero potencian el trabajo ante la movilidad del paciente.

PROTOCOLO DEL MIOFEEDBACK

Cuando los músculos se contraen, generan potenciales eléctricos que alcanzan la superficie corporal hasta el exterior de la piel. Si se aplican dos o tres electrodos (según el fabricante), se detecta la referida actividad para procesarla (Fig. 18-1). Es más frecuente el uso de tres electrodos: uno actúa como indiferente y los otros dos como activos (de los activos,

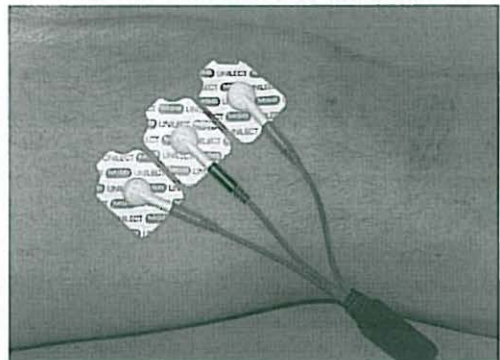


Figura 18-1. Tres electrodos de un *miofeedback* para captar los potenciales de contracción muscular. El central suele ser el indiferente cuando se usa esta modalidad.



Figura 18-2. Trabajo activo de los peroneos que se refleja en los valores de la pantalla y en la columna de led.

uno capta las ondas de carga positiva y el otro las ondas de carga negativa, con referencia al neutro o indiferente, para integrarlas en un conjunto o media ponderada).



Vídeo 18-3. Sensibilidad de un *miofeedback*

Según la **figura 18-1**, el electrodo indiferente se sitúa entre los dos activos, pero en otras aplicaciones los dos activos se sitúan sobre la masa muscular y el indiferente sobre la piel sin masa muscular, en relieves óseos o en zonas como la cara anterior de la tibia (**Fig. 18-2**). Esta colocación va a depender mucho de las exigencias técnicas del aparato.

El equipo que procesa las ondas es de gran sensibilidad, pues detecta niveles de microvolts sobre la piel procedentes de la despolarización de las fibras musculares.

El *miofeedback* no representa la actividad muscular a modo de electromiógrafo, sino que integra la señal en una media de toda la actividad muscular (**Fig. 18-3**). Sin embargo, con frecuencia se emplea la expresión «electromiografía de superficie» (EMG).



Vídeos 18-4 y 18-5. Pantalla con columnas y Pantalla con línea 1c

MÉTODOS DE TRABAJO CON MIOFEEDBACK

El método de trabajo con *miofeedback* puede ser activo o pasivo.

Método activo. Si se realizan trabajos musculares de forma intencionada o voluntaria, se considerarán una variante de tipo positivo o activo, de manera que siempre implicará aumento de la actividad muscular y, por consiguiente, se empleará mucho para el entrenamiento y fortalecimiento muscular o mejora de otras actividades biológicas (**Fig. 18-2**).

Método pasivo. Si se intenta disminuir de forma voluntaria la actividad muscular mantenida de forma involuntaria (como hipertro-

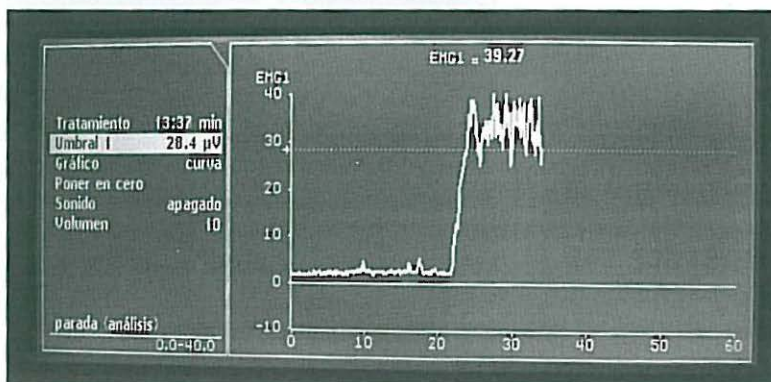


Figura 18-3. Pantalla en que se representa de forma visual la evolución del esfuerzo realizado por el paciente de la **figura 18-2**. La gráfica es una media ponderada de todas las ondas que captan los electrodos.



Figura 18-4. Paciente que está relajando los trapecios. Escucha la indicación sonora que tiende a disminuir en proporción al nivel de relajación. Su objetivo es la desaparición del sonido.

nidad o contracturas), se considerará una metodología de trabajo en negativo o pasivo. Así se buscará el control en la disminución de la actividad muscular por relajación o control a la baja de otras actividades biológicas (Fig. 18-4).

Un ejemplo de método activo consistiría en aplicar los electrodos en la masa muscular de un grupo parético e indicar al paciente que intente contraerlos de manera cadencial, a la vez que observa la respuesta en la pantalla o en la columna de *led* para intentar superarse (Fig. 18-2).



Videos 18-6 a 18-10. Fibras oblicuas del vasto interno, Fortalecimiento del cuádriceps, Fortalecimiento del tibial anterior, Potenciación del deltoides y Trabajo selectivo del deltoides

Otro ejemplo de método pasivo se basa en colocar los electrodos en los trapecios de un paciente con gran hipertono muscular e indicarle que observe el nivel de su tono muscular (representado en una línea o en una columna de *led*), que mantiene de forma involuntaria, para que intente, de forma voluntaria, bajar el

nivel de la línea en la pantalla o disminuir la altura de la columna de *led* (Fig. 18-4).



Videos 18-11 a 18-17. Relajación de aductores, Relajación con POLD, Relajación del cuadrado lumbar, Relajación de epitrocleares, Relajación posmanipulación vertebral, Relajación posterior a trenes cortos y Tono de los paravertebrales

COMBINACIÓN DE MIOFEEDBACK CON ESTIMULACIÓN ELÉCTRICA

El *miofeedback* detecta la actividad muscular voluntaria y la electroestimulación provoca la contracción muscular involuntaria.

En esta técnica, en general, se alterna el trabajo activo detectado por el *miofeedback* con la electroestimulación, o se intenta que el trabajo activo provoque el estímulo eléctrico para reforzar la actividad voluntaria. A lo largo de la sesión, el *miofeedback* indicará el progresivo fortalecimiento o fatiga del estado o evolución de la actividad muscular. Cuando el músculo o grupo muscular trabajado requiera un refuerzo de estimulación eléctrica transcutánea, se aplicará para entrenarlo y, en la siguiente cadencia, se observarán los resultados. Los electrodos pueden ser los mismos o ser diferentes para cada función según el equipo (Fig. 18-5).

En la figura 18-5 puede observarse un detalle de la pantalla de un *miofeedback* que ofrece tres modalidades de trabajo: EMG, sólo *miofeedback*; STIM, sólo estimulador, como estimulación electromuscular (EMS), y ETS, como *miofeedback* que, al conseguir cierto nivel de actividad (ajustado), provoca la salida de un tren de pulsos que aumentan y refuerzan la contracción muscular.

El trabajo activo puede presentarse tanto en el tiempo de estimulación como en el de detección. El equipo (o un estimulador con un *miofeedback* combinados) debe estar per-

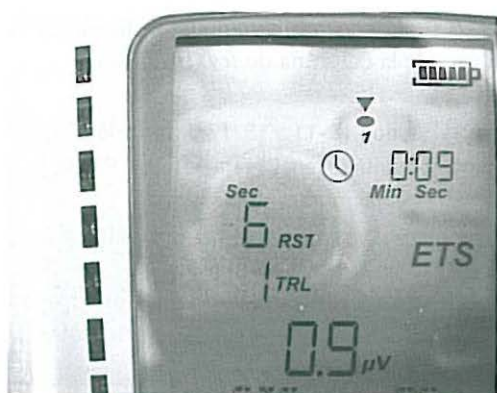


Figura 18-5. Preparación de un *miofeedback* para que trabaje en modo estimulación electromuscular (ETS) o combinación de *miofeedback* con estimulador.

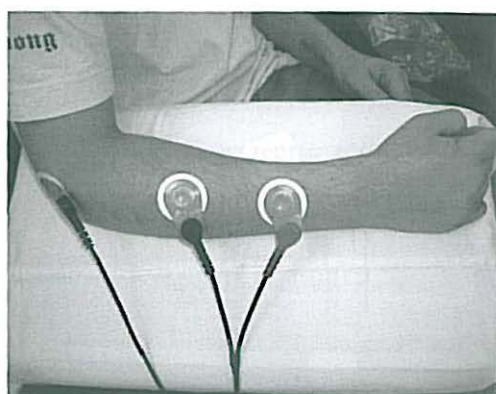


Figura 18-6. Parálisis periférica del radial tratada con *miofeedback*. Dos electrodos activos sobre masa muscular y el indiferente sobre superficie ósea.

fectamente coordinado desde el punto de vista electrónico para separar la estimulación de la detección mioeléctrica. Nunca debe estar trabajando la detección del *miofeedback* a la vez que se aplica estimulación eléctrica, ya que pueden inyectarse hasta más de 100 V en entradas que están preparadas para captar millonésimas de voltio (salvo que el equipo esté debidamente protegido). La información sobre la protección frente a pulsos eléctricos procedentes del estimulador la aporta el fabricante y hay que conocerla.

Esta técnica se aplicará en procesos de parálisis periféricas parciales, tonificación selectiva de un fascículo muscular y atrofas musculares globales. Es una técnica típica en las incontinencias por fatiga del suelo pélvico. Otros muchos músculos pueden potenciarse también con la técnica del *miofeedback* y la electroestimulación (Fig. 18-6).

Una utilidad muy interesante y práctica de la combinación de la técnica de electroestimulación con detección mioeléctrica mediante *miofeedback* consiste en la observación en pantalla:

- Del calentamiento muscular al inicio de la sesión.

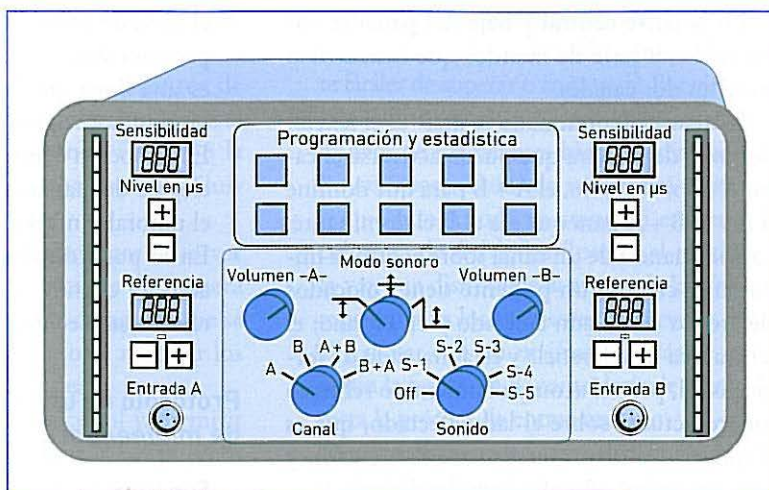
- Averiguar el mejor tiempo de contracción muscular.
- Averiguar el tiempo más adecuado de espera entre contracción y contracción.
- Observar el aumento en la capacidad de trabajo muscular al inicio de la sesión.
- Aprender los efectos positivos o negativos de la estimulación eléctrica.
- Representar la fatiga muscular.
- Intuir el momento en que debe finalizarse la sesión, etcétera.

En definitiva, permite observar de forma objetiva situaciones que antes se intuían por apreciaciones subjetivas o comentarios del paciente.

DESCRIPCIÓN DE UN EQUIPO BÁSICO DE MIOFEEDBACK

En la figura 18-7 se representa el panel frontal de un hipotético equipo de *miofeedback* que se describe a continuación. Se da por hecho que en el panel posterior se encontrará el interruptor de encendido y apagado, conectores para comunicarlo con un ordenador y la conexión para activar y desactivar artilugios de tipo lúdico u otros que serán muy útiles para aplicar la técnica con niños.

Figura 18-7. Panel de un hipotético equipo para miofeedback de dos canales.



En una apreciación de tipo general, se observa que a derecha e izquierda se encuentran los mismos elementos. Ello implica que se trata de un equipo de dos canales.

Cada canal dispone de una *columna de led*, en la cual se representa, de forma lumínica y progresiva, la cantidad de actividad mioeléctrica detectada. Con ello, el paciente percibe, de forma cualitativa y en tiempo real, una orientación visual de su actividad biológica pretendida, incluidas sus oscilaciones, bajadas y aumentos de actividad. En el caso de que el equipo estuviera conectado a un ordenador, en la pantalla se dibujarían las evoluciones del trabajo realizado en una visión global.

Asimismo, en el frontal se aprecian los *conectores o entradas* para los cables que proceden del paciente.

La *sensibilidad* (en ambos canales) es el nivel de captación de potenciales evocados y se ajusta en microvoltios (μV). Cuando los electrodos no captan potenciales, no se ilumina ningún *led*. Sin embargo, cuando los electrodos detectan actividad, la columna se ilumina de forma progresiva hasta alcanzar el último *led* (o, incluso, lo sobrepasaría con facilidad), situaciones que se corrigen modificando el nivel de sensibilidad. Los grados de sensibilidad más frecuentes suelen estar en 10, 25, 50, 100,

250 y 500 μV . Ello significa que, si se ajustan 25 μV , la columna de *led* se completará cuando se capten los 25 μV . Si se ajustan 250 μV , la columna se completará al detectar 250 μV . Así pues, en procesos patológicos en que la actividad muscular es mínima (en una parálisis periférica parcial), se ajustará la sensibilidad a 10 o a 25 μV para aumentarla según la evolución terapéutica. En actividades de potenciación en un deportista se está obligado a situar la sensibilidad en 250 o en 500 μV .

La *referencia*, también para ambos canales, consiste en marcar al paciente un tope o límite superable en una aplicación activa o que pueda mantenerse por debajo en las aplicaciones pasivas. Bien en el indicador de referencia bien en el de sensibilidad, se representarán los valores numéricos de los microvoltios detectados en ese instante para que el paciente (o el terapeuta) tenga una visión cuantitativa de su esfuerzo. Supóngase que se sitúa la referencia en el octavo *led*: se ha marcado al paciente una referencia más para que intente superarla.

En la parte media y alta del panel se aprecia una serie de pulsadores que se destinarán a diferentes funciones, no especificadas, de programación, de análisis y de interconexión con el ordenador, y dependerán de las pretensiones del fabricante.

En la parte central y baja del panel se encuentra una serie de mandos que interactúan entre los dos canales.

El mando denominado «canal» es el *selector de canal*, de manera que puede activarse el canal A sólo, el B sólo, el A + B para que domine el A y el B + A para que sea el B el dominante. La dominancia de un canal sobre el otro es importante cuando un paciente tiene colocados electrodos en el lado afectado y en el sano; el sano actúa de referencia y está marcado de forma visual, pero el acompañamiento o refuerzo sonoro actuará sobre el lado afectado, que es el que en realidad merece toda la atención y refuerzos, tanto visuales como auditivos.

El mando denominado «sonido» activa o desactiva la *función sonora* o permite elegir diferentes tipos de sonidos, cuyas cualidades dependerán de la ocurrencia del fabricante y se seleccionará uno u otro dependiendo del bienestar del paciente. Es habitual encontrar aumentos de frecuencia que coinciden con el aumento de actividad, cambios del timbre que coinciden con los cambios en la actividad, escalas musicales, etcétera.

También se observan dos mandos tabulados «volumen -A-» y «volumen -B-», que, como es lógico, serán los ajustes sonoros del canal A o del B, respectivamente.

Por último, se encuentran, en la zona central de controles para sonido, un mando giratorio de tres posiciones con los siguientes iconos:

- A la izquierda, una flecha de doble punta por debajo de una línea horizontal.
- En el centro, una flecha de doble punta cruzada por una línea horizontal.
- A la derecha, una flecha de doble punta por encima de una línea horizontal.

Este mando trabaja sólo cuando está activado el refuerzo sonoro:

- En la posición de la izquierda, el sonido podrá oírse siempre que no se haya superado

el nivel de referencia establecido (en las representaciones en pantallas, por lo general, es una línea que cruza toda la pantalla en sentido horizontal).

- En la opción central se escuchará el sonido elegido de manera continua y no importará el umbral o nivel de referencia.
- En la posición derecha, el sonido sólo se activará cuando se supere el nivel de referencia establecido.

Protocolo de una sesión de miofeedback

Supóngase un paciente amputado por la muñeca con el cual se ha marcado el objetivo de que aprenda y domine el uso de una prótesis mioeléctrica. La prótesis realiza el gesto funcional de apertura y cierre de pinza combinada entre el primer dedo, por un lado, y el resto en bloque, por el otro (Fig. 18-8).

Dado que la maniobra protésica pretendida tiene doble función (cierre de pinza y apertura de pinza), deben buscarse dos grupos musculares con buena función y bien diferenciados (flexores para el cierre y extensores para la apertura).

Puede entrenarse al paciente de forma previa sobre un *miofeedback* estándar o sobre una prótesis diseñada a tal efecto (representada en la Fig. 18-8):

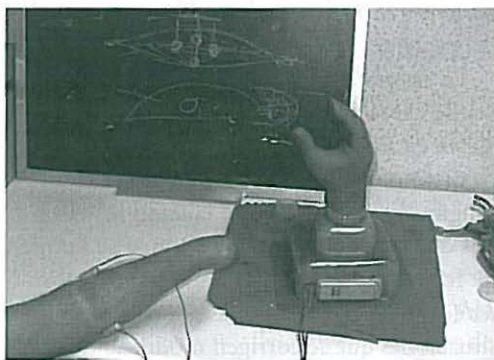


Figura 18-8. Entrenamiento de un paciente amputado para el uso de una prótesis mioeléctrica.

- Explicación previa al paciente de los objetivos por conseguir (también los suyos) y realizar las aclaraciones pertinentes de la metodología utilizada para su correcta comprensión (obsérvese en la Fig. 18-8 la existencia de una pizarra con esquemas ilustrativos al respecto).
- Poner en marcha el equipo para observar que, en principio, no funcione de manera incorrecta. Activar el canal o canales que se van a usar (dos en este caso) y manejar los cables con orden y delicadeza.
- Limpieza de la piel con alcohol y permitir su evaporación para facilitar la conducción eléctrica.
- Mediante palpación previa, se darán órdenes al paciente para que realice repetidas contracciones musculares y se tratará de palpar y detectar el lugar de mejor tono muscular. Se fijarán de forma provisional los electrodos para comprobarlo y así encontrar su mejor situación. Se localizarán y marcarán de forma definitiva los puntos de fijación siempre que se hallen dentro de la zona abarcada por el encaje protésico (en esta técnica es necesaria la coordinación previa con el técnico protésico).
- Una vez que se ha dedicado un tiempo a la mejor localización de los electrodos, se situarán de forma definitiva, tras decidir la localización en la cual al final se integrarán en el mecanismo de la prótesis.
- Un canal se fijará en los flexores, y el otro canal, en los extensores (obsérvese la situación de los electrodos en la Fig. 18-8).
- Se centrará la atención en uno de los dos grupos (p. ej., flexores) mediante intentos de contracción e importante esfuerzo; se fijará el nivel en su canal y una posible referencia o umbral.
- A continuación, hay que centrarse en el canal de los extensores para que, mediante los esfuerzos correspondientes por parte del paciente y centrados en los extensores, puedan fijarse la sensibilidad y una posible referencia que convenga superar.
- Deben marcarse al paciente objetivos claros, no confusos, y bien definidos aunque bastante fáciles de superar o conseguir. Por ejemplo, para comenzar en este caso, debe intentar el trabajo de los flexores bien diferenciado de los extensores. Para ello se indicará al paciente que ponga toda su atención en elevar la columna de *led* de los flexores al máximo a la vez que disminuye la altura de los *led* que representan a los extensores, y viceversa. Esto, al trabajar con un *miofeedback* clásico, pero, según la figura 18-8, controlaría de forma directa la prótesis de entrenamiento.
- Dependiendo de la integridad muscular del paciente, se le indicará que realice intentos durante varios segundos (p. ej., 5 s), con descansos de otros tantos segundos, a la vez que centra su atención en las columnas de *led* y en los refuerzos auditivos si se han activado. Dado que la atención visual genera más fatiga que la auditiva, es importante activar un sistema sonoro adecuado: por ejemplo, deben sonar notas musicales cada vez de mayor frecuencia, pero cuando se haya superado el umbral de referencia.
- En general, el paciente se autoanima y es posible que necesite retoques al alza en los niveles de sensibilidad y en las referencias durante la misma sesión. Es normal que, en la primera fase de la sesión, tiendan a mejorar los resultados, en una segunda fase se estabilicen y, por último, decaigan (lógicamente, por fatiga). Llegados a este punto, se retirará la aplicación.

INDICACIONES DEL MIOFEEDBACK MUSCULAR

De acuerdo con lo expuesto y sus respuestas biológicas, las indicaciones pueden concretarse en:

- Tratamientos de parálisis parciales.
- Tratamientos de parálisis centrales (hipertonías o espasticidad).

- Tratamiento de parálisis cerebral infantil.
- Tratamientos de incontinencia.
- Entrenamiento de personas amputadas para prótesis mioeléctricas.
- Perfeccionamiento de los movimientos y trabajos encomendados a los pacientes.
- Fortalecimientos de músculos atroficos y no integrados en su cadena sinérgica.
- Potenciación muscular.
- Elongación muscular.
- Propiocepción y restablecimiento de funciones neuromusculares perdidas (en comparación con el lado sano).
- Entrenamiento de marchas y gestos.
- Entrenamiento de la propiocepción en el control del apoyo y equilibrio sobre plataformas.
- Control postural.
- Relajación de contracturas musculares.
- Disminución del dolor en entesitis, tendinitis o mialgias.
- Disminución del dolor y relajación en lumbalgias.

INDICACIONES Y APLICACIONES DEL BIOFEEDBACK GENERAL

Pueden citarse las siguientes aplicaciones generales:

- Entrenamiento del control mental.
- Control del estrés.
- Control del dolor (migraña).
- Entrenamiento del control del ritmo cardíaco.
- Relajación para generar ondas α .
- Control de la tensión sanguínea.
- Control de procesos respiratorios.
- Control de la hiperhidrosis.
- Control de la temperatura corporal.
- Control de incontinencia nocturna.
- Control de tics nerviosos.
- Generación de fenómenos artísticos.
- Experimentación animal.

MIOFEEDBACK EN INCONTINENCIAS

No procede en esta obra entrar en detalles sobre toda la metodología de tratamientos en incontinencias, ya que este tema en sí mismo requiere un libro específico, pero puede realizarse una breve introducción general.

El tratamiento de incontinencias urinarias o fecales requiere, como es lógico, unos enfoques diferentes de los pacientes con problemas musculoesqueléticos en las extremidades o el tronco. Algunas de las técnicas podrán aplicarse sin tener que acudir a la cavidad vaginal o anal, pero serán muy frecuentes los tratamientos intravaginales e intraanales.

Esto requiere:

- Un trato y confianza especial con los pacientes.
- Explicar de manera cuidadosa el proceso terapéutico.
- Un trato psicosocial exquisito y de respeto hacia el paciente.
- Tratamientos personalizados.
- El debido tacto para superar pudores y miedos.
- Proteger la intimidad debida de los pacientes.
- El uso del box adecuadamente preparados para estos tratamientos.
- Especial cuidado con la limpieza y esterilización del material.
- Especial cuidado con maniobras bruscas y agresivas.
- Seguimiento detallado y personalizado de la sesión.
- Toda una serie de materiales consumibles en abundancia, como guantes, sabanillas, empapaderas, electrodos de un solo uso, electrodos personalizados para cada paciente, sistemas de esterilización, etcétera.

Se usará mucho el *miofeedback* combinado con estimulación eléctrica, y se alterna-

rán las cadencias de trabajo activo y trabajo provocado por estímulo eléctrico o bien se reforzará el trabajo activo con el estímulo eléctrico.

Además, no se emplea sólo el *miofeedback*, sino que usan otros métodos, como detectores de presión o cambios de angulación, por lo que ya se debe hacer referencia al *biofeedback* de forma más genérica.



Vídeo 18-18 y 18-19. Electrodo para *feedback* y *Feedback* de presión

En función de la causa que genera la incontinencia, el enfoque será bastante diferente de unos pacientes a otros aunque, como se ha descrito con anterioridad, en este caso no se entrará en detalles, pero habrá que ser muy cuidadoso con las corrientes aplicadas para respuesta motora.

En las aplicaciones intracavitarias de corrientes, el riesgo de irritación, dolor y quemadura aumenta de forma considerable, por lo que se usarán corrientes bifásicas y de alto voltaje, pero aun es mejor (si se dispone del material adecuado) que se utilice la media frecuencia.

Con relativa frecuencia estos procesos obedecen a traumatismos graves en la zona y a intervenciones quirúrgicas con la consiguiente lesión nerviosa motora y sensitiva. En este caso, no se causarán molestias con la corriente, pero pueden producirse quemaduras con cierta facilidad.

En parálisis de tipo periférico, por lo general se considera que no queda más remedio que aplicar pulsos monofásicos, aislados y normalmente triangulares, con un componente galvánico importante y su consiguiente riesgo de irritación o quemadura. Para evitar esta situación, debe usarse equipamiento que permita generar modulaciones de media fre-

cuencia que sustituya a los pulsos triangulares monofásicos (Fig. 18-9; v. «Tratamiento de la parálisis de cuerdas vocales y la musculatura adyacente», en el cap. 10).

Estas modulaciones de media frecuencia son muy tolerables y no generan irritación ni quemadura. Asimismo, las corrientes bifásicas de alto voltaje (de uso muy frecuente en algunas variables de estas enfermedades) también pueden sustituirse por trenes con modulaciones de media frecuencia (corriente de Kots; v. caps. 11 y 12).

Biofeedback en psicología

En psicología se aplican de forma amplia las técnicas de *biofeedback* para el control de muchas actividades o actitudes biológicas de los pacientes que, por ser involuntarias o automáticas, no son susceptibles de modularse de manera voluntaria de forma adecuada. Sin embargo, el *biofeedback* las pone de manifiesto de forma objetiva para tratar de influir o modular dicha manifestación mostrada y observable.

Es muy típico el tratamiento del estrés psicosomático con la utilización de detectores de ondas cerebrales, detectores de tono muscular, detectores de ritmo cardíaco, de presión arterial, de sudoración, etc., para que, de forma bien dirigida por el psicólogo, el paciente aprenda a controlar su biología y normalizarla.

Estos equipos suelen ofrecer cualidades que facilitan la memorización de los resultados alcanzados en las sucesivas sesiones, para presentarlos con posterioridad en forma de análisis estadísticos que permitan al terapeuta el estudio y progreso del paciente. En general, los equipos de *biofeedback* o de *miofeedback* con cierto nivel de calidad permiten la conexión a un ordenador para el proceso de datos o ellos mismos los elaboran y presentan.

A modo de ejemplo y dentro del amplio campo de posibilidades, el control de la fre-

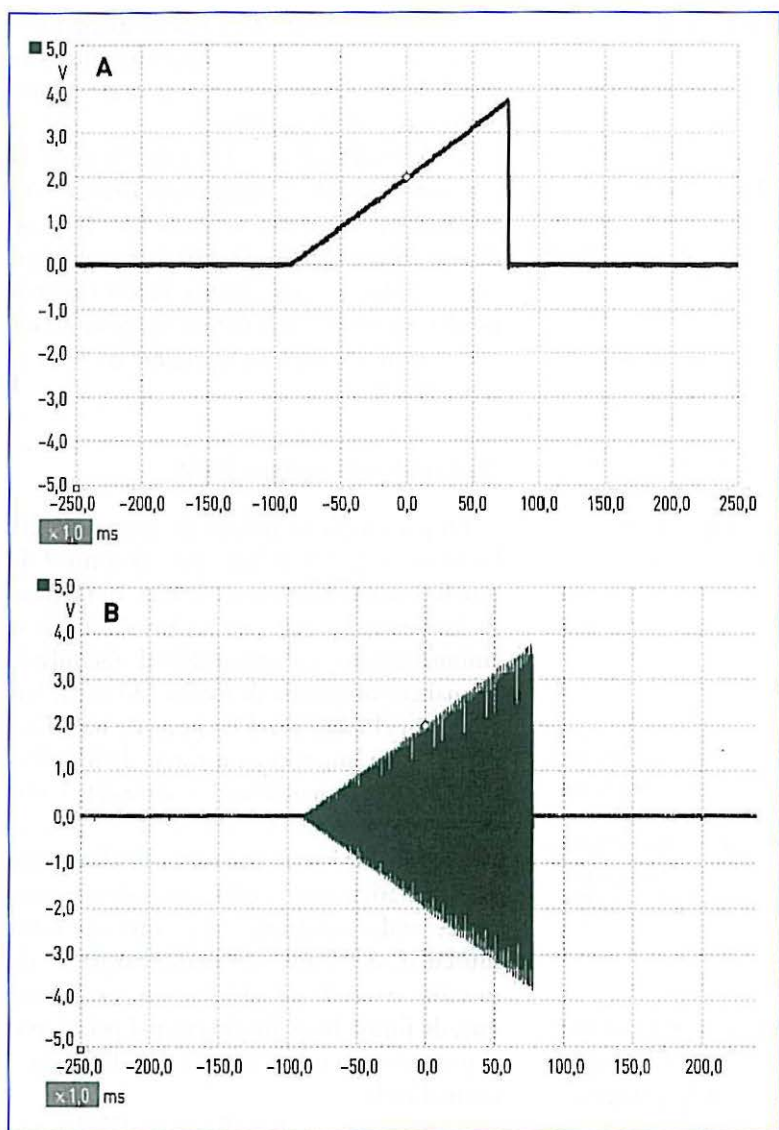


Figura 18-9. A) Pulso monofásico, triangular y de uso habitual en parálisis periféricas. B) Modulación de media frecuencia, triangular y equivalente al pulso monofásico sin componente galvánico.

cuencia cerebral es típico para conseguir relajación y eliminar tensión psicosomática.

La frecuencia de las ondas cerebrales debe ser la siguiente:

- Delta: de 1 a 3 Hz.
- Theta: de 4 a 7 Hz.
- Alfa: de 8 a 11 Hz.
- Sigma: de 12 a 15 Hz.
- Beta: de 15 a 30 Hz.

Biofeedback en actividades de tipo artístico

En los últimos tiempos, al aprovechar las posibilidades tecnológicas de la informática y de la imagen (también de la música), ciertos artistas, incluso terapeutas, consiguen representar y proyectar el aura corporal con sus tonalidades y colores, de manera que el propio actor y generador del aura puede in-

fluir de forma mental en los cambios de forma y color de su propia aura, bien con fines terapéuticos bien con fines de exhibición y espectáculo.

Asimismo, existen músicos que son capaces de componer sonidos mentalmente o modular

composiciones musicales para luego reproducirlas de memoria y conseguir efectos nunca alcanzados.



Autoevaluación

Material complementario en el sitio web



- Autoevaluación
- Vídeos:
 - 18-1. *Miofeedback* portátil
 - 18-2. *Feedback* para niños
 - 18-3. Sensibilidad de un *miofeedback*
 - 18-4. Pantalla con columnas
 - 18-5. Pantalla con línea 1c
 - 18-6. Fibras oblicuas del vasto interno
 - 18-7. Fortalecimiento del cuádriceps
 - 18-8. Fortalecimiento del tibial anterior
 - 18-9. Potenciación del deltoides
 - 18-10. Trabajo selectivo del deltoides
 - 18-11. Relajación de aductores
 - 18-12. Relajación con POLD
 - 18-13. Relajación del cuadrado lumbar
 - 18-14. Relajación de epitrocleares
 - 18-15. Relajación posmanipulación vertebral
 - 18-16. Relajación posterior a trenes cortos
 - 18-17. Tono de los paravertebrales
 - 18-18. Electrodo para *feedback*
 - 18-19. *Feedback* de presión

Soluciones de las prácticas

Capítulo 1

Práctica 1-1

1. 3.000 mA
2. 0,0075 A

Práctica 1-2

1. 7.640 ohmios
2. 423,32 ohmios

Práctica 1-3

1. 0,009 A
2. 2.777,7 ohmios
21 V

Práctica 1-4

1. 0,272 W
272 mW
2. 0,072 W

Práctica 1-5

La de 3.000 W

Práctica 1-6

1. En el caso de (A) no conocemos cuando arrancó y no podemos calcularlo. En el caso de (B) podríamos entender que podemos calcular el tiempo entre 4:2 y 2:34.
2. En julios (J).
2400 J.

Práctica 1-7

1. $J = \frac{V}{R} V \cdot T = \frac{V^2}{R} T = \frac{35^2}{2.800} 600 = 262,5 \text{ J}$
2. $W = \frac{V}{R} V = \frac{V^2}{R} = \frac{1.225}{2.800} = 0,43 \text{ W}$
3. $I = \frac{V}{R} 1.000 = \frac{35}{2.800} 1.000 = 12,5 \text{ mA}$

Práctica 1-8

21,77 C

Práctica 1-9

1. 10 minutos $\cdot 60 = 600 \text{ s}$
 $600 \text{ s} \cdot 2 \text{ W} = 1.200 \text{ J}$
2. $15 \cdot 80 = 1.200 \text{ J}$

Práctica 1-10

- 1-1. 12 mA = 0,012 A
 $0,012 \text{ A} \cdot 4.200 \Omega = 50,4 \text{ V}$
 $0,012 \text{ A} \cdot 50,4 \text{ V} = 0,60 \text{ W}$
- 1-2. 12 mA = 0,012 A
 $0,012 \text{ A} \cdot 3.000 \Omega = 36 \text{ V}$
 $0,012 \text{ A} \cdot 36 \text{ V} = 0,43 \text{ W}$
- 1-3. 12 mA = 0,012 A
 $0,012 \text{ A} \cdot 2.900 \Omega = 34,8 \text{ V}$
 $0,012 \text{ A} \cdot 34,8 \text{ V} = 0,41 \text{ W}$
- 1-4. 12 mA = 0,012 A
 $0,012 \text{ A} \cdot 2.850 \Omega = 34,2 \text{ V}$
 $0,012 \text{ A} \cdot 34,2 \text{ V} = 0,41 \text{ W}$
- 2-1. $32 \text{ V} / 4.200 \Omega = 0,007 \text{ A}$
 $0,007 \text{ A} \cdot 32 \text{ V} = 0,24 \text{ W}$

2-2. $32 \text{ V} / 3.000 \Omega = 0,010 \text{ A}$

$0,010 \text{ A} \cdot 32 \text{ V} = 0,34 \text{ W}$

2-3. $32 \text{ V} / 2.900 \Omega = 0,011 \text{ A}$

$0,011 \text{ A} \cdot 32 \text{ V} = 0,35 \text{ W}$

2-4. $32 \text{ V} / 2.850 \Omega = 0,0112 \text{ A}$

$0,0112 \text{ A} \cdot 32 \text{ V} = 0,36 \text{ W}$

Práctica 1-11

1. $3 + 6 = 9 \text{ ms}$ de período

$1.000 / 9 = 111,11 \text{ Hz}$

2. $1.000 / 125 \text{ Hz} = 8 \text{ ms}$ de período

$8 - 2 = 6 \text{ ms}$ de reposo

3. $1.000 / 4.000 \text{ Hz} = 0,25 \text{ ms}$

4. $4 + 4 = 8 \text{ ms}$ de período

$1.000 / 8 = 125 \text{ Hz}$

No es cierto.

5. $300.000.000 / 15.000.000 = (300 / 15)$

$= 20 \text{ m}$

6. $300.000.000 / 300 = 1.000.000 \text{ (1 MHz)}$

7. $300.000.000 / 1 = 300.000.000 \text{ (300 MHz)}$

8. $300.000.000 / 900.000.000 = 0,333 \text{ m}$

Capítulo 3

Práctica 3-1

360 ohmios

Práctica 3-2

1. $0,15 \cdot 60 = 9 \text{ mA}$

2. $0,15 \cdot 75 = 11,25 \text{ mA}$

Práctica 3-3

1. $7 \cdot 35 = 245 \text{ W}$

2. $7 \cdot 24,5 = 171,5 \text{ W}$

Práctica 3-4

1. $18 \cdot 0,001 \cdot 200 = 3,6 \text{ mA}$

2. $4 \cdot 0,050 \cdot 150 = 3 \text{ mA}$

Práctica 3-5

1. $30 \cdot 0,004 \cdot 125 \cdot 50\% = 7,5 \text{ mA}$

2. $12 \cdot 0,010 \cdot 50 \cdot 0,707 = 4,24 \text{ mA}$

Capítulo 2

Práctica 2-1

1. $1 + 10 = 11$

$1.000 / 11 = 90,9 \text{ Hz}$

2. $1.000 / 4 = 250 \text{ ms}$

$250 - 10 = 240 \text{ ms}$ de reposo

Práctica 2-2

1. En milisegundos

2. En segundos

Práctica 2-3

NO

Capítulo 5

Práctica 5-1

1. $27,2 \%$

2. $38,6 \text{ mA}$

3. $25,7 \text{ mA}$

Capítulo 7

Práctica 7-1

234,38

Práctica 7-2

59,24

Práctica 7-3

46,03

Capítulo 13

Práctica 13-1

1. 0,33 metros (33 cm)
2. 2.448.979.591,837 Hz (aproximadamente los 2.450 Mhz de la MO).
3. 10.000 metros

Capítulo 15

Práctica 15-1

1. Potencia total = 0,8 W_t
2. A 1/5

Práctica 15-2

1. 2,5:7,5 ms
2. en el 25%

Práctica 15-3

8:12 ms

Práctica 15-4

1. No es pulsado, es continuo.
2. 1/1

Práctica 15-5

1. 0.5 W_t
2. 1 W_t
3. 2 W_t

Práctica 15-6

1. 4.000 J totales
2. 57,14 J/cm²

Práctica 15-7

$$0,7 \times 3/1 = 2,1 \text{ W/cm}^2$$

Práctica 15-8

5,33 minutos

Práctica 15-9

1. Al doble (0,8 W/cm²)
2. 150 segundos (2,5 minutos)

Práctica 15-10

540 segundos (9 minutos)

Práctica 15-11

363,3 segundos (6,06 minutos)

Capítulo 16

Práctica 16-1

$$0,05 \text{ W/cm}^2 \cdot 500 = 25 \text{ J/cm}^2$$

Práctica 16-2

$$0,7 \text{ W} \cdot 500 = 3.500 \text{ J}$$

$$3.500 \text{ J} / 60 \text{ cm}^2 = 58,3 \text{ J/cm}^2$$

Práctica 16-3

$$15 \text{ min} \cdot 60 = 900 \text{ segundos}$$

$$0,088 \text{ W/cm}^2 \cdot 900 = 79,2 \text{ J/cm}^2$$

Práctica 16-4

$$90 \text{ J/cm}^2 / 0,115 \text{ W/cm}^2 = 782 \text{ segundos}$$

$$782 / 60 = 13 \text{ minutos}$$

Práctica 16-5

$$80 \text{ J/cm}^2 / 0,085 \text{ W/cm}^2 = 941 \text{ segundos}$$

$$941 / 60 = 15,6 \text{ minutos}$$

Capítulo 17

Práctica 17-1

1. 7 sg
2. 50 sg
3. 0,05 W
4. 3000 J / 3 W

Índice analítico

A

- Absorción de energía, 9
- Acomodación
 - índice o cociente, 300
 - observaciones sobre este fenómeno, 301
- Alta frecuencia, 425
 - atérmica, 441
 - cálculo
 - calor y temperatura, 437
 - clasificación, 431
 - contraindicaciones, 448
 - control de potencia con pulsátil, 444
 - D'Arsonval, 432
 - diatermia, 433
 - dosis, 437
 - efecto(s)
 - fisiológicos, 445
 - paralelo, 453
 - serie, 453
 - generación de calor con pulsos, 443
 - indicaciones, 447
 - microonda, 452
 - número de sesiones, 447
 - onda corta, 433, 449
 - precauciones, 447
 - del personal, 456
 - preguntas protocolarias, 448
 - pulsada, 435
 - termoterapia profunda, 427
 - tiempo de la sesión, 438
 - transmisión del calor
 - por conducción, 437
 - por convección, 437
 - por conversión, 437
 - por irradiación, 437
 - ultracorta, 434

- Anaelectrotono, 140
- Analgesia
 - con faradización, 352
 - duración, 240
- Análisis
 - de las curvas (I/T) - (A/T), 315
 - denervación grave, 318
 - denervación parcial, 320
 - fibrosis muscular, 319
 - hiperexcitabilidad, 318
 - de un neuroestimulador hipotético, 361
 - de un tren de impulsos, 333
- Ángulo de deflexión, 296
 - observaciones, 303
- Ánodo, 127
- Aperiodicidad, 240
- Axonotnesis, 310

B

- Barridos
 - de contorno
 - ajustable con porcentajes, 390
 - cuadrangular, 389
 - trapezoidal, 388
 - triangular, 388
 - de frecuencia, 45
- Biofeedback, 593
 - en actividades artísticas, 604
 - en psicología, 603
 - indicaciones, 602
- Bioimpedancia, 179
- Bioimpedanciometría, 179
 - parámetros medibles, 180
- Bombeo circulatorio, 353

C

- Calor, 12, 437
- Campo(s)
 - de condensador, 427
 - de inducción, 427
 - de irradiación, 428
 - magnéticos, generación, 466
- Canales de voltaje, 128, 282
- Capacitancia, 15
- Cataelectrotono, 140
- Cátodo, 127
- Cavitación, 505
- Celulitis, 522
- Circuitos electrónicos, 20
 - en intensidad, 20
 - en tensión, 20
 - sin estabilizar, 20
- Ciríax con corrientes, 256
- Coagulación anódica de la raíz sensitiva, 164
- Cociente de acomodación, 298
- Código de colores, 101
- Coherencia de la luz, 558
- Colores de conexión, 80
- Componente galvánico, 147
- Comportamiento biológico, curvas características, 178
- Conductividad, 19
- Conductores
 - de primer orden, 19
 - de segundo orden, 19
 - dieléctrico, 19
 - tipos, 7
- Contorno
 - ajustable con porcentajes, 390
 - cuadrangular, 389
 - trapezoidal, 388
 - triangular, 388
 - utilidad, 391
- Contractura de cuadrado lumbar, 523
- Corriente
 - alternas, 38
 - aperiódicas, 240
 - aplicación
 - aporte de energía, 66
 - cambios químicos, 66
 - de media frecuencia, 66
 - de baja frecuencia, 66
 - dosis, 68
 - efecto motor, 66
 - efecto sensitivo, 66
 - efectos térmicos, 66
 - intencionada, 80
 - limitaciones de los aparatos, 75
 - mantenida o frecuencia fija, 44
 - simultánea de varias corrientes, 41
 - bifásicas de alto voltaje, 51
 - clasificación
 - según efectos, 36
 - según formas de onda, 37
 - según frecuencias, 36
 - según modo de aplicación, 36
 - con Ciríax, 256
 - con polaridad y sin polaridad, 46
 - de Adams o FM, 243
 - diadinámicas, 243
 - cortos períodos, 266
 - efectos sobre el organismo, 36
 - en electroterapia, 36
 - frecuencia, 238
 - galvánica o corriente continua, 37
 - impulsos, 237
 - interferenciales clásicas, 382
 - interrumpidas alternas, 38
 - interrumpidas galvánicas, 38
 - de Kots, 339
 - Le Go, 242
 - Leduc, 241
 - Mega-A, 245, 254
 - modulación(es)
 - cero, 249
 - de media frecuencia, 243
 - moduladas
 - en amplitud, 39
 - en frecuencia, 40
 - para las TENS, 216
 - portadora de media frecuencia e interferenciales, 244
 - reposos, 238
 - sistemas de aplicación, 75

- tiratrón, 242
- Trabert, 241
- trenes, 239
- variables, parámetros de medida, 21
- Cronaxia, 294
- Curvas (I/T - A/T) de normalidad
- parámetros característicos, 291, 296
- modo rápido de realización, 290

D

- D'Arsonvalización, 432
- Densidad de energía electromagnética, 8, 429
- Diadinámicas, 264
- base de galvánica, 265
- círculo del dolor, 269
- círculo vicioso del dolor, 269
- acúmulo de catabolitos, 273
- contractura, 272
- dolor agudo, 270
- edema, 273
- fibrosis, 214
- inflamación, 273
- isquemia, 272
- como se consiguen, 264
- corriente polarizada
- de 50 Hz, 264
- de 100 Hz, 264
- cortos períodos, 266
- difásica fija, 266
- efectos fisiológicos, 268
- largos períodos, 267
- límites de intensidad, 277
- metodología de tratamiento, 276
- monofásica fija, 266
- percepciones del paciente, 268
- precaución importante, 275
- ritmo sincopado RS, 267
- Diapulse, 17, 435
- Difásica fija, 266
- Diferencia(s)
- de potencial, 19
- entre TENS y EMS, 233
- Dolor(es), 216

- causas del dolor, 219
- círculo vicioso, 269
- clasificación, 218
- conducción del dolor, 223
- de origen bioquímico, 220
- de origen mecánico, 221
- de origen neurálgico, 223
- exploración, 245
- forma de tratarlos, 219
- mecanismo de activación e inhibición, 226
- percepción subjetiva, 218
- respuestas al dolor, 219
- teoría de la inervación secundaria, 227
- teoría por vías sensitivas, 224
- tiempo de analgesia, 240
- Dosificación de
- densidad de energía, 72
- de energía, 13
- energía recibida, 71
- factor forma de pulso, 75
- de galvánica, 68, 143
- de infrarrojos, 532
- de iontoforesis, 184
- de láser, 122
- de magnetoterapia, 463
- de media frecuencia, 33
- de microonda, 435, 452
- observaciones, 14
- de onda corta, 433, 449
- potencia
- de pico, 73
- eficaz, 72
- precisión, 72
- superficie de aplicación, 71
- tiempo de la sesión, 71
- de ultrasonoterapia, 119, 487, 500

E

- Ecografía músculoesquelética, 525
- Edema óseo, dosis US, 525
- Efecto
- batido o de interferencia, 25
- de cavitación, 505

Efecto (*cont.*)

- Hall, 173
- Efecto Hall, 475
- Joule, 27
- Efecto excitomotor, 280
- curvas I/T - A/T o de respuesta fisiológica, 279
 - análisis de las curvas, 316
 - características
 - del electroestimulador, 283
 - de las gráficas, 285
 - de acomodación tiempo (A/T), 280
 - de intensidad tiempo (I/T), 280
 - enlentecimiento de los tiempos de respuesta fisiológica, 305
 - fenómeno de acomodación, 301
 - ficha de seguimiento para exploración, 328
 - ficha de tratamientos, 328
 - ficha para captura de datos, 328
 - forma de obtener las curvas, 296
 - gráfica para curvas
 - lineal, 328
 - logarítmica, 328
 - índice o cociente de acomodación, 298
 - parámetros característicos de (A/T)
 - ángulo de deflexión, 296
 - cronaxia, 294
 - escalones, 294
 - punto útil
 - muscular, 291
 - nervioso, 292
 - rama
 - cronáxica, 294
 - de acomodación anódica, 298
 - de acomodación catódica, 298
 - reobásica, 293
 - reobase, 291
 - umbral
 - de faradización, 292, 297
 - gálvano tétano, 296
 - zona de respuesta, 295
 - cuadrangular, 295
 - triangular, 299
 - realización de las curvas, 288
 - respuesta de referencia, 289

- triángulo de utilidad terapéutica (TUT), 306
- Electricidad, 28
 - carga eléctrica, 3
 - dinámica, 29
 - estática, 28
 - formas, 28
 - parámetros fundamentales, 2
 - sentido de la corriente
 - en las disoluciones, 129
- Electroanalgesia
 - con modulación cero, 254
 - contraindicaciones, 260
 - corrientes utilizadas, 241
 - guiada
 - de puntos gatillo, 250
 - por cabezal de US, 247
 - por electrodo puntual, 250
 - por galvanopalpación, 247
 - guiada por galvanopalpación, 169
 - por guantes conductores, 249
 - por vibración muscular, 251
 - precauciones, 260
 - resumen de las técnicas, 258r
- Electrodo(s)
 - activo, 104
 - colocación, 80
 - bipolar, 82, 105
 - contralateral, 82, 105
 - homolateral, 82, 105
 - longitudinal, 82, 105
 - metamérica, 83, 105
 - monopolar, 81, 105
 - multipolar, 83, 105
 - puntual, 105
 - tripolar, 83, 105
 - con esponjilla, 94
 - de aplicación directa, 94
 - de gel adhesivo, 94
 - masa o indiferente, 104
 - en media frecuencia, 397
 - puntual, 78
 - tamaño, 76, 77
- Electroestimulación funcional (FES), 373
 - tamaño, 66

Electroforesis, 128
 Electrólisis, 29, 128
 – guiada percutánea intratisular, 165
 Electromagnetismo, 14
 Electroporación, 202, 435
 – protocolos, 83
 Elongación muscular, 370, 422
 Epicondilitis, dosis US, 523
 Equipos y utillaje para electroanalgesia con las TENS, 231
 Equivalente electroquímico, 31t, 188
 Escalones en la curva cuadrangular, 280
 Escaras, cicatrización por estimulación nerviosa transcutánea, 257
 Espectro electromagnético, 31
 Espolón del calcáneo, dosis US, 521
 Estimulación
 – de fibra muscular de fibra no denervada, 330
 – selectiva de músculos denervados, 309
 Excitomotricidad, 300
 Experimento
 – de Labatut, 185
 – de Leduc, 184
 Exteroceptores, 226

F

Factor de forma de pulso, 74
 Farádicas, 333
 – frecuencia, 335
 Faradización
 – aplicación, 351
 – casos, 365
 – degeneración fibrosante, 366
 – denervación parcial, 365
 – elongación muscular, 370
 – miopatías, 367
 – potenciación muscular, 367
 – cuestiones generales, 347
 – equipo, 359
 – intencionada, 113
 – neuromuscular, 330
 – para analgesia, 352
 – potenciación a doble canal

– alternada, 355
 – simultánea, 355
 – potenciación
 – con descanso activo, 356
 – secuenciada en fases, 356
 Fibra(s)
 – excitables, 281
 – muscular, tipo, 340
 – nerviosas
 – amielínicas, 229
 – mielínicas, 229
 Fibrosis subdeltoidea, dosis US, 522
 Ficha
 – de captura de datos para curvas (I/T) - (A/T), 328
 – de seguimiento para exploraciones (I/T) - (A/T), 328
 – de tratamiento con curvas (I/T) - (A/T), 328
 Foresis de medicamentos por electroporación, 202
 Forma
 – de aplicación
 – barridos de frecuencia, 45
 – mantenida, 44
 – pulsos aislados, 43
 – trenes o ráfagas, 44
 – vibración muscular, 45
 – de onda, 48
 – bifásicas, 56
 – en la respuesta motora y sensitiva, 57
 – influencia de la electrónica, 54
 – viejas, 52
 Fórmula
 – de alta frecuencia, 24f
 – de baja frecuencia, 24f
 – de equivalente electroquímico, 189
 – de Faraday, 31, 189, 205
 – de intensidad
 – de pico, 73
 – eficaz, 73
 – de Joule, 27
 – de Ohm, 7
 – de potencia, 8
 – de pico, 73
 – eficaz, 72

Fórmula (*cont.*)

- de resistencia
- en paralelo, 6
- en serie, 6
- del trabajo, 10
- Frecuencia, 22
- fundamental, 59
- picos armónicos, 59
- de Bahr, 590
- de Nogier, 589
- de Reininger, 590
- Fuerza electromotriz, 4

G

Galvánica(s), 37, 109, 125, 142, 171

- pulsada, 150
- de media frecuencia, 150
- interrumpidas, 38, 110, 147
- Galvanismo, 126, 155
- aplicaciones y tratamientos con, 156
- bañera galvánica, 161
- baño galvánico, 157
- cálculo
- de componente galvánico, 126
- resistencia del paciente, 126
- contraindicaciones, 171
- demostración práctica, 126
- dosis de la galvánica, 126
- efecto(s)
- ascendente, 141
- circulatorios y linfáticos, 139
- bajo el ánodo, 139
- bajo el cátodo, 139
- de alteración metabólica, 134
- de electrosmosis, 134
- de hidrólisis, 134
- descendente, 141
- electroforético, 134
- polares, 134
- en procesos agudos, 156
- en procesos crónicos, 156
- sobre el metabolismo, 135
- sobre el sistema nervioso

- central, 141
- motor, 140
- sensitivo, 140
- trofovascular, 134
- vértigo voltaico, 141
- electrolisis guiada percutánea, 165
- fenómenos químicos, 129
- galvanopalpación, 167
- microgalvanismo, 165
- osteogénesis y osteolisis, 174
- precauciones
- embarazo, 172
- endoprótesis, 172
- glándulas, 172
- heridas, 172
- marcapasos, 171
- osteosíntesis, 171
- problemas cardíacos, 172
- prodecos cancerígenos, 172
- respuesta exagerada, 173
- sensibilidad alterada, 173
- tromboflebitis, 172
- quemadura electrolítica, 163
- reducción bajo el cátodo, 129
- respuestas orgánicas, 135
- rizolisis, 164
- Galvanopalpación, 167
- electroanalgesia guiada, 169
- en CC o en VC, 169
- Generación de la luz, 546
- Generador
- de corriente galvánica, 142
- en paralelo, 15
- en serie, 15
- Gráfica para curvas (I/T) - (A/T)
- de progresión lineal, 328
- de progresión logarítmica, 328
- Guantes conductores, 249, 405f, 416f

H

- Hiperhidrosis, 169
- intensidad de la corriente, 169

I

- Imanoterapia, 173
 - efecto Hall, 173
- Impedancia, 15
 - piel-electrodo, 68
- Impulsos
 - aislados, 43
 - parámetros, 43t
- Índice de acomodación, 280
- Inductancia (auto-inducción), 15
- Infrarrojos
 - contraindicaciones, 543
 - diferencias entre IR estándar e IR láser, 537
 - diseño de un equipo, 539
 - dosis, 532
 - efectos fisiológicos, 541
 - indicaciones, 542
 - precauciones, 542
 - protocolo para aplicarlos, 540
 - respuesta biológica, 541
- Intensidad, 4
 - constante (C.C.), 20
 - de pico, 45, 73
 - eficaz, 73
- Interoceptores, 226
- Inverso multiplicativo, 503
- Iontoforesis
 - con ácido acético, 204
 - algunos ejemplos, 203
 - cambio de polaridad, 208
 - cantidad de medicamento usado, 195
 - concentración del fármaco, 195
 - desventajas, 195
 - dimensiones del electrodo activo, 195
 - dosificación en mA/minuto, 200
 - dudas sobre la polaridad, 195
 - duración
 - de la sesión, 195
 - del tratamiento completo, 195
 - electrodos específicos, 206
 - empleo de otras corrientes, 201
 - estado de la piel, 195
 - factores que influyen en la aplicación, 195
 - frecuencia de las sesiones, 200

- con histamina, 206
- indicaciones, 209
- con interferenciales, 202
- con lidocaína, 205
- medicamento introducido, 197
- parámetros del circuito, 198
- precauciones y contraindicaciones, 209
- con procaína, 206
- rellenando una ficha, 205
- ventajas, 195t

J

- Jaula
 - de Faraday, 454
 - magnética, 474

L

- Largos períodos, 267
- Láser
 - banda de emisión, 562
 - boquillas de separación, 577
 - características, 567
 - clasificación legal, 562
 - contraindicaciones, 590
 - datos técnicos del fabricante, 569
 - de Ar-Ga, 568
 - de CO₂, 568
 - de diodo, 561
 - de gases, 561
 - de helio-neón, 567
 - de neodimio-YAG, 568
 - dosis o densidad de energía, 35, 585
 - en algunos casos, 572
 - en bursitis, 587
 - en capsulitis, 587
 - en derrames, 589
 - en desgarros tisulares, 589
 - en entesitis, 588
 - en fascitis, 589
 - en fibromialgia, 589
 - en fibroneuralgia, 589

Láser (*cont.*)

- dosis o densidad de energía
 - en hematomas, 589
 - en periostitis, 587
 - en procesos artríticos, 588
 - en procesos artrósicos, 588
 - en procesos ulcerosos, 586
 - en tenosinovitis, 587
 - en varices, 586
- protocolos, 585
- recomendadas, 585
- efectos, 583
- equipos, 578
 - panel de láser puntual, 578
 - panel para láser
 - de cañón, 579
 - de cono divergente, 581
- formulación
 - algunos casos, 572
 - para la dosis, 571
 - para potencia eficaz, 571
- frecuencia del pulsado, 574
- método de producción, 560
- Láser
 - barridos
 - de línea, 567
 - de puntos, 566
 - cono divergente, 567
 - puntual, 565
 - sistemas de diodo, 565
 - superficie de influencia, 565
 - superficie del haz, 565
 - modos de aplicación, 564
 - con sistemas de cañón, 564
 - sistemas de diodo, 565
 - niveles de potencia, 562
 - parámetros, 568
 - potencia, 570
 - precauciones, 590
 - tipos, 560
- Laserpuntura, 589
- Laserterapia, 545
- Ley
 - de Coulomb, 4
 - de Faraday, 31

- de Faraday, 188
- de la absorción, 556
- de la concavidad, 553
- de la distancia, 552
- de la divergencia, 552
- de la energía por tiempo, 557
- de la luz, 550
- de Ohm, 7
- fundamental de la excitomotricidad, 326
- Longitud de onda, 23
- Luz
 - coherencia, 558
 - comparación con el láser, 558
 - de alta potencia, 559
 - difracción y luminiscencia, 558
 - direccionalidad, 551
 - espectro luminoso, 547
 - ley(es)
 - de la absorción, 556
 - de la concavidad, 553
 - de la distancia, 552
 - de la divergencia, 552
 - de la energía por tiempo, 557
 - monocromática, 559
 - no coherente, 548
 - no divergencia, 559
 - no divergente, 559
 - policromatismo, 551
 - reflexión, 551
 - refracción, 551
 - teoría
 - corpuscular, 550
 - ondulatoria, 551

M

- Magnetoterapia, 459
 - aplicaciones según efectos biológicos, 483
 - colocación del paciente, 480
 - contraindicaciones, 484
 - dosificación, 463
 - dosis
 - equipo, 476
 - frecuencia, 468

- precauciones, 484
- regulación de energía aplicada, 470
- Masaje cavitacional, 259
- Mecanorreceptores, 227
- Media frecuencia, 377
 - algunas aplicaciones, 419
 - algunas aplicaciones, 419
 - con electrodos manoplas, 416
 - con vibrador de masaje, 416
 - Contraindicaciones de media frecuencia, 424
 - contraindicaciones, 424
 - de primera generación, 386
 - de segunda generación, 387
 - de tercera generación, 387
 - diferentes sistemas, 386
 - dosificación, 400
 - dosificación, 400
 - efectos
 - sobre el tejido conjuntivo, 406
 - sobre el tejido nervioso, 410
 - sobre la piel, 414
 - sobre las disoluciones orgánicas, 13
 - sobre musculatura
 - estriada, 401
 - lisa, 404
 - electroestimulador, 393
 - elongación muscular, 422
 - en terapia combinada, 418
 - hipotético equipo, 392
 - indicaciones, 423
 - local o puntual, 416
 - otras formas de aplicarla, 416
 - potenciación muscular, 419
 - precauciones, 424
 - tejidos en los que actúa, 401
 - terapia combinada, 418
 - trenes, 391
 - vacuómetro, 393
- Medida
 - de impedancia en osciloscopio, 19
 - de intensidad eficaz, 151
- Mega-A, 254
- Microcorrientes, 57
 - frecuencia, 57

- intensidad, 57
- Microgalvanismo, 165
- Micromasaje tisular, 510
- Microonda, 435, 452
- Miofeedback*, 593
 - combinado con estimulación eléctrica, 597
 - descripción de un equipo, 598
 - en incontinencias, 602
 - inconvenientes, 595
 - del *miofeedback*, 601
 - indicaciones, 601
 - métodos de trabajo, 596
 - protocolo de uso, 600
 - sistemas, 594
 - ventajas, 595
- Modulación(es), 47
 - cero, 386, 414, 415
 - de baja frecuencia, 48
 - en frecuencia fija, 392
 - nivel en AM, 384
 - tipos, 383
 - triangular aislada, 392
- Moduladas de Bernard, 264
- Monocromatismo de la luz, 559
- Monofásica fija, 266
- Movimiento browniano, 27, 509
- Músculo, clasificación en estáticos y dinámicos, 349c

N

- Nemectrodínicas, 380
- Neuroestimulador de alto voltaje, diseño, 360
- Neuropraxia, 311
- Neurorreceptor o terminación nerviosa, 226
 - exteroceptores, 226
 - interoceptores, 226
 - propioceptores o mecanorreceptores, 222
 - clasificación, 222t
- Neurotmesis
- Nociceptores, 168, 227
 - teoría del dolor por los nociceptores, 227
- Nomenclatura
 - aperiódica de Adams, 112

Nomenclatura (*cont.*)

- *biofeedback* y *miiofeedback*, 123
- BNR del cabezal, 121
- *burst* de los TENS, 114
- campo
 - de condensador, 118
 - de inducción, 118
 - de irradiación, 118
- componente galvánico, 110
- corriente(s)
 - alternas, 110
 - constata y voltaje constante, 109
 - de alto voltaje, 114
 - de Kots, 118
 - estocástica, 112
 - TENS y EMS, 114
- cronaxia, 115
- curvas I/T - A/T, 115
- de baja frecuencia, 110
- de generalidades, 105
- de media frecuencia, 116
- densidad de energía, 108
- diadinámicas, 111
- dosificación de alta frecuencia, 118
- dosis
- faradización, 112
- faradización intencionada, 113
- fijación de electrodos, 104
- formas de pulso, 106
- frecuencias ultrasónica, 120
- galvánica, 110
- galvanopalpación, 110
- impulsos, modulaciones y reposos
- infrarrojos, 106
- intensidad, 107
- interferenciales, 118
- interrumpidas galvánicas, 110
- iontoforesis con interferenciales, 118
- laserterapia, 122
- lectura de forma de ondas, 106
- magnetoterapia, 123
- media frecuencia bipolar, 117
- modulación cero, 117
- neofarádicas, 113
- nivel relativo de emisión, 107

- potencia, 108
- potencia de pico, 108
- radiofrecuencia, 118
- regulación de potencia en US, 120
- sentido de la corriente, 104
- tiempos de pulso y de reposo, 106
- trabajo, 108
- triángulo de utilidad terapéutica, 115
- ultrasonoterapia, 119

O

- Objetivación de los cambios biológicos, 174
- Onda(s)
 - de choque, 519
 - corta, 433, 449
 - de intensidad, 61
 - de voltaje, 61
- Osciloscopio, 58
- espectrómetro, 58
- ondas de voltaje y de intensidad, 61
 - de pico, 59
 - eficaz, 59
 - medio, 59
 - pico a pico, 59
 - RMS, 59
- Osteogénesis y osteolisis, 174
- Oxidación bajo el ánodo, 129

P

- Parálisis
 - facial, 322
 - periférica, 309
- Período, 22
 - activo, 342
 - de latencia, 342
 - de repolarización, 342
 - refractario, 342
- Peso molecular, cálculo, 189
- pH, cómo medirlo, 160

- Piezoelectricidad, 488
 – del hueso, 474
 Polaridad
 – de los medicamentos, 187
 – eléctrica, 2
 Polos magnéticos, 481
 Potencia, 8
 – de pico, 73
 – eficaz, 72
 Potenciación
 – de membrana, 64
 – moderada, 353
 – muscular, 354, 419
 – representación gráfica, 49, 63
 Propioceptores, 222
 Protocolo para aplicar electroterapia, 83
 Pulsos magnéticos, formas, 467
 Punto o tiempo útil
 – muscular, 291
 – nervioso, 292
 Punto(s)
 – gatillo, dosis US, 525
 – motores, 85
 – – antebrazo posterior, 86
 – – ciático poplíteo externo, 92
 – – de la cara, 89
 – – de la mano, 90
 – – dorso del pie, 94
 – – hombro y brazo posterior, 86
 – – musculares, 94
 – – musculatura tibial posterior, 93
 – – muslo anterior y posterior, 90
 – – nerviosos, 94
 – – pierna anterior y posterior, 92
 – – planta del pie, 94
 – – tronco anterior, 88
 – – tronco posterior, 87

Q

- Quemadura(s)
 – cómo evitarlas, 85
 – electrolítica, 163

R

- Radiaciones
 – ionizantes, 32
 – no ionizantes, 32
 Rama
 – cronáxica, 294
 – de acomodación anódica, 298
 – de faradización o acomodación catódica, 298
 – reobásica, 293
 Reacciones
 – bajo el ánodo, 129
 – bajo el cátodo, 130
 – de electrolisis, 132
 – – en el ánodo, 132
 – – en el cátodo, 133
 – electroquímicas, 130
 Reactancia, 18
 – capacitativa, 17
 – inductiva, 16
 Relajación muscular, 352
 Reobase, 291
 Resistencia, 5
 – de los electrodos, 21
 – en serie, 5
 – óhmica, 16
 – en paralelo, 6
 Resistividad, 19
 Resonancia iónica ciclotrónica, 470
 Retracción de Dupuytren, 524
 Ritmo sincopado RS, 267
 Rizólisis, 164
 RMS, 59
 – valor, 58
 Rotura muscular cronicada, 522

S

- Seudoanestesia, 412
 Sistemas de *biofeedback*, 595
 Sonda de osciloscopio, 63
 Sonoforesis, 511

T

Técnica(s)

- de electroterapia, tabla resumen, 99c
- de estimulación nerviosa sensitiva y motora (TENS) para electroanalgesia, 216

Temperatura, 12, 437

TENS y EMS diferencias, 233

Tensiomiografía, 327

Teoría de la resonancia iónica ciclotrónica, 470

Terapia

- analgésica por corrientes estimulantes, 216
- combinada de ultrasonidos con corrientes, 514

Terminaciones propioceptivas, clasificación, 222t

Termoterapia

- profunda, 425
- superficial, 530

Tetrapolares con y sin vector, 387

Tiempo

- de impulso dentro del tren, 343
- de pausa entre trenes, 344
- de período, 23
- de pulso, 23
- de reposo, 23
- del tren, 344

Tonificación moderada, 353

Toxicidad de los electrodos, 130

Transformación de energía en calor, 27

Tratamientos

- con farádicas, 347
- con la bañera galvánica, 161
- edema en miembros inferiores, 162
- espondilalgia, 162
- de hiperhidrosis, 169
- de parálisis
- en cuerdas vocales, 324
- facial, 322
- periférica, 309

Trenes, 44

- con patología, 344
- de alto voltaje, 338
- de aplicación intencionada, 345

– de Kots, 340

– de media frecuencia, 340, 391

– impulsos y reposos, 333

– rampa, 333, 345

– tiempo del tren, 343

– y pausas, 333

Triángulo de utilidad terapéutica (TUT), 306

– forma de hallarlo, 308

Trofovascular, 134

U

Ultracorta, 434

Ultrasonidos

– BNR del cabezal, 493

– conducción y absorción, 505

– equipos aplicadores, 495

– ERA del cabezal, 494

– forma de aplicarlos, 491

– longitud de onda, 491

– medidor de salida en el cabezal, 497

– potencia aplicada y absorbida, 496

– profundidad de penetración, 504

– regulador de potencia, 495

– selector de 1 y 3 MHz, 495

– velocidad de conducción, 491

Ultrasonoterapia

– algunos ejemplos, 502

– cálculos de dosificación, 512

– contraindicaciones, 521

– corrección de potencia con el inverso multiplicativo, 503

– cronometraje real, 497

– dosis real, 500

– dosis recomendadas, 506, 521

– efectos sobre el organismo, 507

– hipotético equipo de ultrasonoterapia, 517

– indicaciones, 520

– masaje del cabezal, 511

– metodología de tratamiento, 511

– número de sesiones, 514

– ondas de retorno, 506

– precauciones, 521

– selector de pulsátil, 498

- sobrecarga del cabezal, 497
- sonoforesis, 511
- superficie
 - eficaz del cabezal, 500
 - tratada, 500
- Ultravioletas, 36Umbral
 - de excitación nerviosa, 315
 - farádico, 297
 - gálvano tétano, 296,

V

- Vademécum iontoforético, 36, 210t
- Velocidad de transmisión energética, 13
- de la iontoforesis, 195t
- Vértigo voltaico, 141
- Vibración
 - molecular, 28

- muscular, 45
 - con *burst* del TENS, 253
 - con corrientes autodiseñadas, 253
 - con modulaciones de MF, 252
 - con TENS en continuo, 253
 - polaridad de la corriente, 254
 - tiempo de sesión, 254
- Viejas formas de onda, 52
- Voltaje
 - constante (V.C.), 20
 - de ionización, 195

Z

- Zona de respuesta
 - cuadrangular, 295
 - triangular, 299